

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO**

**Walkan Benkendorf**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE  
VOZ EM REDES CORPORATIVAS FRAME RELAY**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Paulo José de Freitas Filho, Dr. Eng.

Florianópolis, Março de 2003.

# **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE VOZ EM PROJETOS DE REDES CORPORATIVAS FRAME RELAY**

*Walkan Benkendorf*

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração Sistemas de Computação, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Banca Examinadora

---

Fernando Ostuni Gauthier, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. Paulo José de Freitas Filho, Dr. Eng.  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup> Elizabeth Sueli Specialski, Dr. Eng.

---

Prof. Alexandre Moraes Ramos, Dr. Eng.

“O coração do sábio adquire o conhecimento,  
e o ouvido dos sábios procura o saber.”

Provérbios de Salomão 18:15

À minha esposa, Michele,  
pelo amor e dedicação  
de todos os dias, e à minha  
filha Laura, um presente de Deus  
em minha vida.

Agradeço a todos que tenham acreditado e valorizado a concepção deste trabalho, especialmente a meu orientador, Paulo Freitas, pela paciência e amizade acima de tudo.

Ao Romes Alkmim Sanches, por todo seu apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao George Fregonezi, por todo o conhecimento transmitido ao longo de 4 anos na empresa.

Ao Fábio Viel dos Santos e Jaqueline Patrício, por disponibilizarem os equipamentos para o Projeto Experimental.

Aos membros da banca de TI, Rivalino Matias e

Alexandre Moraes Ramos, que viram potencial neste trabalho.

E a todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

## Índice

<a href="#">Índice</a> .....	6
<a href="#">Lista de Figuras</a> .....	8
<a href="#">Lista de Tabelas</a> .....	9
<a href="#">Resumo</a> .....	10
<a href="#">Abstract</a> .....	11
<a href="#">Capítulo 1 - Introdução</a> .....	12
<a href="#">1.1 - INTRODUÇÃO GERAL</a> .....	12
<a href="#">1.2 - JUSTIFICATIVA</a> .....	13
<a href="#">1.3 - PROBLEMA A SER TRATADO</a> .....	17
<a href="#">1.4 - OBJETIVOS</a> .....	17
<a href="#">1.5 - ESTRUTURA DO TRABALHO</a> .....	18
<a href="#">Capítulo 2 - Revisão de Literatura</a> .....	20
<a href="#">2.1 - TRABALHOS RELACIONADOS</a> .....	21
<a href="#">2.2 – VOZ EM TEMPO REAL <i>VERSUS</i> REDES DE COMUTAÇÃO DE PACOTES</a> .....	24
<a href="#">2.3 - O PROTOCOLO FRAME RELAY</a> .....	28
<a href="#">2.4 - CONTROLE DE TRÁFEGO E CONGESTIONAMENTO DO FRAME RELAY</a> .....	41
<a href="#">2.5 - VOZ SOBRE FRAME RELAY</a> .....	48
<a href="#">2.6 - TOPOLOGIA DE REDES FRAME RELAY E CONCEITO DE SUBINTERFACE</a> .....	53
<a href="#">2.7 - PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE</a> .....	55
<a href="#">2.7.1 - PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE EM REDES FRAME RELAY</a> .....	56
<a href="#">2.8 - MECANISMOS DE QoS EM REDES CORPORATIVAS FRAME RELAY</a> .....	59
<a href="#">2.9 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO</a> .....	63
<a href="#">2.10 - PARÂMETROS DE INTERFACES DE TELEFONIA</a> .....	66
<a href="#">Capítulo 3 - Metodologia de Pesquisa</a> .....	68
<a href="#">3.1 - ESTABELECEER OBJETIVOS E DEFINIR O SISTEMA A SER AVALIADO</a> .....	71
<a href="#">3.2 - LISTAR OS SERVICOS E RESULTADOS PROVIDOS PELO SISTEMA</a> .....	72
<a href="#">3.3 - SELECIONAR AS MEDIDAS DE DESEMPENHO (MÉTRICAS)</a> .....	73
<a href="#">3.4 - LISTAR OS PRINCIPAIS PARÂMETROS RELACIONADOS AO DESEMPENHO</a> .....	73
<a href="#">3.5 - SELECIONAR OS PRINCIPAIS FATORES A SEREM ESTUDADOS</a> .....	74
<a href="#">3.6 - SELECIONAR A TÉCNICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO</a> .....	75
<a href="#">3.7 - COMPREENDER, CARACTERIZAR E SELECIONAR A CARGA DE TRABALHO</a> .....	76
<a href="#">3.8 - REALIZAR UM PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS</a> .....	77
<a href="#">3.9 - ANÁLISE DE DADOS</a> .....	79
<a href="#">3.10 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS</a> .....	79
<a href="#">Capítulo 4 - Aplicação da metodologia e análise de resultados</a> .....	80
<a href="#">4.1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA</a> .....	80
<a href="#">4.2 - RESULTADOS DA MEDIÇÃO DO SISTEMA</a> .....	84

<a href="#">Capítulo 5 - Conclusão</a> .....	89
<a href="#">5.1 - APRESENTAÇÃO</a> .....	89
<a href="#">5.2 - AVALIAÇÃO DO MODELO</a> .....	90
<a href="#">5.3 - RESULTADOS</a> .....	90
<a href="#">5.4 - CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO</a> .....	92
<a href="#">5.5 - LIMITAÇÕES DO TRABALHO</a> .....	92
<a href="#">5.6 - SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS</a> .....	94
<a href="#">Anexo A - Estatística e método de geração de tráfego do sistema</a> .....	96
<a href="#">Anexo B - Parametrização do sistema</a> .....	97
<a href="#">B1 - PARAMETRIZAÇÃO DOS FRADS 1 E 2</a> .....	98
<a href="#">B2 - PARAMETRIZAÇÃO DO ROTEADOR EMULANDO SWITCH FRAME RELAY</a> .....	111
<a href="#">Referências bibliográficas</a> .....	117

## Lista de Figuras

<a href="#">Figura 1 - Tendência de mercado do Frame Relay. Fonte: <i>Vertical System Groups 2001</i>.</a>	14
<a href="#">Figura 2 - Penetração de mercado do Frame Relay nos EUA. Fonte: <i>Vertical System Group 2001</i>.</a>	15
<a href="#">Figura 3 - Intenção de migração do Frame Relay para IP VPN nos EUA. Fonte: <i>Vertical System Group 2001</i>.</a>	15
<a href="#">Figura 4 - Topologia de redes IP VPNs utilizando acessos Frame Relay e roteamento MPLS.</a>	16
<a href="#">Figura 5 - Redução do custo do minuto tarifado de voz em serviços integrados. Fonte: <i>Business Communication Review 1998</i>.</a>	16
<a href="#">Figura 6 - Influência da taxa de erro de bit e dos <i>tandems</i> no desempenho dos <i>codecs</i> de voz G.723.1 6,3Kbps e AD PCM 32 Kbps.</a>	26
<a href="#">Figura 7 - Estrutura da PDU e formato do cabeçalho para o Frame Relay.</a>	31
<a href="#">Figura 8 - Campo do endereço DL-Core com 3 ou 4 octetos [10].</a>	31
<a href="#">Figura 9 - O DLCI representa a porta de destino que se quer alcançar.</a>	34
<a href="#">Figura 10 - Interfaces UNI e NNI do Frame Relay</a>	36
<a href="#">Figura 11 - Configuração de serviços no plano – U da UNI do Frame Relay [10].</a>	37
<a href="#">Figura 12 - Formato do DL – Core utilizando apenas o NLPID.</a>	40
<a href="#">Figura 13 - Visão cartesiana do mecanismo de policiamento de tráfego [10].</a>	44
<a href="#">Figura 14 - Mecanismo de notificação de congestionamento pelos bits FECN e BECN</a>	45
<a href="#">Figura 15 - A relação entre a vazão efetiva de tráfego e a carga oferecida [24]</a>	47
<a href="#">Figura 16 - Estrutura do serviço <i>Voice Relay</i> (VR) da Motorola.</a>	48
<a href="#">Figura 17 - Estrutura dos cabeçalhos para o serviço <i>Voice Relay</i> da Motorola.</a>	49
<a href="#">Figura 18 - Modelo de multiplexação estatística por subcanais [10].</a>	51
<a href="#">Figura 19 - Subquadro FRF.11 encapsulado em Frame Relay</a>	52
<a href="#">Figura 20 - Exemplo de topologia de raios em Frame Relay</a>	54
<a href="#">Figura 21 - Diagrama do sistema.</a>	81
<a href="#">Figura 22 - Gráfico dos resultados do projeto experimental inicial.</a>	84
<a href="#">Figura 23 - Desempenho dos <i>codecs</i> desabilitando o mecanismo de fragmentação do sistema.</a>	87

## Lista de Tabelas

<a href="#"><u>Tabela 1 - Desenvolvimento do Frame Relay nos EUA. Fonte: <i>Vertical System Group 2001</i>.</u></a>	14
<a href="#"><u>Tabela 2 - Taxa de transmissão, atrasos e complexidade dos <i>codecs</i> ITU-T [4].</u></a>	24
<a href="#"><u>Tabela 3 - Faixas de valores de DLCIs (versões do ITU-T e do Frame Relay Forum) [10].</u></a>	33
<a href="#"><u>Tabela 4 - Taxa de transmissão do canal de voz para diferentes <i>codecs</i> em Frame Relay e IP.</u></a>	58
<a href="#"><u>Tabela 5 - Atrasos de serialização de PDUs de diferentes comprimentos, em função da velocidade do circuito de acesso (ms) [18].</u></a>	61
<a href="#"><u>Tabela 6 - Tamanho do fragmento em função da CIR para implementações Cisco.</u></a>	62
<a href="#"><u>Tabela 7 - Critérios para Seleção de uma Técnica de Avaliação.</u></a>	64
<a href="#"><u>Tabela 8 - Cenário do projeto experimental</u></a>	78
<a href="#"><u>Tabela 9 - Informações consolidadas sobre os <i>codecs</i> de voz avaliados.</u></a>	79

## Resumo

Um projeto de rede corporativa Frame Relay para serviços de transporte compartilhado de voz em tempo real e dados requer do projetista o ajuste de parâmetros da rede para o melhor desempenho dos serviços. O projetista deve conhecer a arquitetura da rede e o seu comportamento em condições críticas de tráfego, assim como os problemas referentes ao transporte de voz em tempo real em uma rede de comutação de pacotes e os mecanismos de QoS de que pode se beneficiar. Neste trabalho é concebido um modelo real de rede Frame Relay com suporte ao tráfego de voz em tempo real e pacotes IP. É aplicada então uma metodologia de avaliação de desempenho neste modelo, a fim de determinar o melhor ajuste dos parâmetros *codec de voz e comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP* que compartilham as facilidades de rede. Dois projetos experimentais são realizados, um para determinar o melhor ajuste destes fatores e a influência das características do *codec* no desempenho do serviço de voz e outro para determinar qual *codec* de baixa velocidade do ITU-T avaliado apresenta o melhor desempenho em uma situação de níveis elevados de latência de transmissão da rede. No primeiro projeto experimental são aplicados todos os mecanismos de QoS disponíveis do sistema. No segundo é desabilitado o mecanismo de fragmentação para criar condições desfavoráveis de latência da rede. Em ambos é estabelecida uma carga de tráfego limite para o sistema (congestionamento severo dos circuitos de acesso), a fim de avaliar a eficiência dos mecanismos de QoS do Frame Relay no desempenho do serviço de voz.

## Abstract

A corporative network project, based on Frame Relay technology, that provides shared transport services for data and real time voice, requires the network design to handle network parameters aiming at the best services' performance. Besides it's needed the designer knows the network architecture and its behavior for critical traffic conditions. It's also important to know the problems regarding the transport of real time voice traffic over a packet switching network and the QoS mechanisms that could be useful. In this work a real model of corporative Frame Relay network is developed for real time voice and IP transport services to apply a methodology for performance analysis, in order to find the best tuning for the parameters *voice codec* and *IP data packet fragment size* that shares the network facility. Two experimental designs are done, one of them to find the best tuning for these factors and to understand the effects of the *codec's* features on the voice service performance and another to know what is the low speed ITU-T *codec* which presents the best performance for high network transmission delays. In the first experimental design all Frame Relay's QoS mechanisms are available. In the second one, the fragmentation is disabled, to create uncomfortable levels of transmission delays. In both experimental designs are applied an high traffic load, on the limit of the access link congestion, to check the efficiency of the Frame Relay's QoS mechanisms to the voice service performance.

## Capítulo 1 - Introdução

### 1.1 - Introdução geral

Redes de Serviços Integrados, convergência de redes. Estes temas estão em destaque nas corporações, publicações de TI e Telecomunicações, prometendo redução no custo da infraestrutura de rede, facilidade de gerenciamento e escalabilidade através da integração das plataformas de telefonia e dados, antes distintas, em uma única plataforma de redes e serviços.

No entanto, o conceito de rede de serviços integrados, abrangendo os serviços de voz e dados não é novo. De fato, dois esquemas alternativos estão atualmente competindo para prover esta gama de serviços em uma única plataforma de rede. De um lado, as redes ATM e Frame Relay deveriam prover todos os requisitos de QoS para serviços integrados. Do outro lado, a atual Internet e as Intranets corporativas deveriam transportar tráfego de voz em tempo real juntamente com o tráfego de dados. Tradicionalmente o universo das redes é dividido entre estas duas linhas.

As redes de telecomunicações foram originalmente projetadas para suportar comunicações de voz em tempo real, estabelecendo conexões fim a fim pela comutação de circuitos. Durante o curso da história elas tiveram que ser adaptar às necessidades de crescimento de comunicação de dados via modem, RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados), serviços digitais dedicados e mais recentemente, aos *backbones* de serviços integrados ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e Frame Relay.

Em contraste, as redes de dados foram desenvolvidas primariamente para o transporte de dados sobre redes locais ou de longa distância, através do armazenamento e envio de pacotes. Estas redes são uma coleção de pequenas e grandes redes IP (*Internet Protocol*) que são inter-relacionadas na forma da Internet e particionadas em muitas Intranets.

Embora estes dois universos de redes estejam unificados em um modelo de dados e voz compartilhados, cada um destes universos está enxergando o futuro como uma extensão da sua própria tecnologia. O universo das telecomunicações vislumbra uma rede integrada de larga escala ATM que suportaria muitos níveis de QoS , incluindo o tradicional  $n \times 64$  Kbps para voz e sempre foi focado em prover mecanismos para diferentes níveis de QoS. Já para o universo das

redes IP a visão de longa data é que voz possa ser multiplexada com o tráfego de dados existente e, neste caso, o QoS não é considerado com tanta intensidade. O modelo vigente da Internet é plano, oferecendo serviços sem distinção de classe de serviço, baseados no melhor esforço. Percebe-se então que QoS para IP é uma extensão de sua própria estrutura.

Atualmente muitos usuários reportam que os serviços de telefonia na Internet são muito pobres em qualidade, devido ao atraso entre os pacotes de voz transmitidos pela rede e as limitações concernentes aos computadores pessoais (PCs). Um recente estudo de medição de atraso para vários tipos de conexões Internet, realizado por Maxemchuck et. Al [1], sugere que a Internet tem melhor aplicação em conexões locais do que o seu objetivo atual de se tornar uma rede de *backbone* substituta para conexões internacionais e de longa distância.

As companhias de telecomunicações reestruturaram suas redes para suportar serviços integrados e reduzir seus custos operacionais. Para driblar as dificuldades de QoS das redes IP para aplicações de tempo real elas desenvolveram soluções aliando as vantagens do universo das telecomunicações e das redes de dados, implementando redes IP que usam as redes de suporte ATM e Frame Relay para interconexão de dispositivos de acesso. Deste modo a manutenção dos requisitos de QoS para tráfego em tempo real de voz e vídeo é gerenciada pela própria rede de suporte, além de prover o transporte do tráfego IP em uma única plataforma de rede.

Neste contexto, a tecnologia VoFR (*Voice over Frame Relay*) e outras tecnologias proprietárias de transporte de voz em redes Frame Relay foram desenvolvidas justamente com a finalidade de atender a projetos de voz em redes corporativas. A migração das redes de voz modo circuito para Frame Relay é mais suave para o usuário em termos de QoS, devido à concepção do Frame Relay como protocolo modo pacotes orientado a conexão, derivada das antigas redes de telefonia modo circuito.

## 1.2 - Justificativa

A tendência de mercado para o serviço de redes Frame Relay é crescente. De acordo com a figura 1, os aspectos que favorecem o crescimento da tecnologia são: confiabilidade, capacidade de conectividade global, facilidade de expansão, escalabilidade da rede e alta taxa de transmissão dos circuitos de acesso.

## O FUTURO DO FRAME RELAY



Figura 1 - Tendência de mercado do Frame Relay. Fonte: *Vertical System Groups 2001*.

A favorável tendência de crescimento do mercado proporcionou um elevado crescimento da planta instalada em escala mundial e a redução do custo do acesso Frame Relay. A tabela 1 demonstra essa relação para o mercado dos E.U.A.

## Desenvolvimento do Frame Relay nos EUA

	10 anos atrás	Hoje
Portas de clientes	1,193	1.2 Milhões
Portas de provedores de serviço FR	2,893	~1.9 Milhões
Faturamento	U\$14.7 Milhões	U\$7.6 Bilhões
Provedoras de Serviço FR	3	50+
Clientes corporativos	189	36,840
Média de preço acesso T1	U\$2.976	U\$1.644

Tabela 1 - Desenvolvimento do Frame Relay nos EUA. Fonte: *Vertical System Group 2001*.

O Frame Relay é hoje uma das mais populares e rentáveis tecnologias de acesso de redes, ao lado dos circuitos de acesso privados. A figura 2 demonstra a aceitabilidade do Frame Relay em relação a outras tecnologias concorrentes, utilizando o mercado dos E.U.A como exemplo.

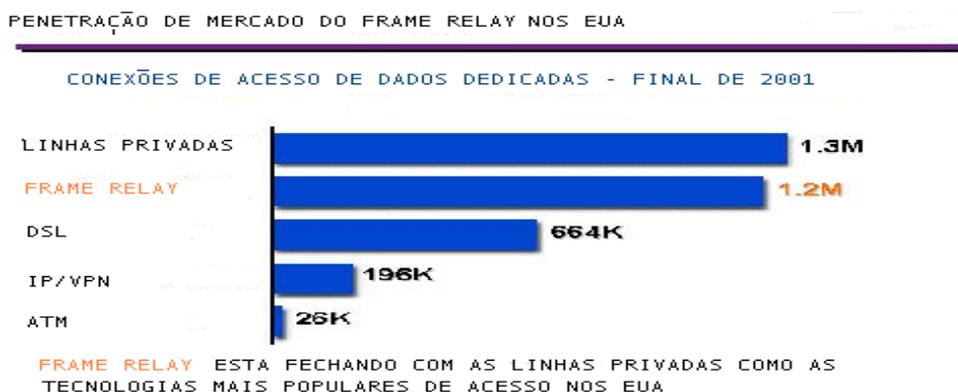


Figura 2 - Penetração de mercado do Frame Relay nos EUA. Fonte: *Vertical System Group 2001*.

No segmento de redes corporativas as redes IP VPNs (*Internet Protocol Virtual Private Networks*) estão se destacando como concorrentes diretas do Frame Relay. A comunidade acadêmica concentra seus esforços na pesquisa de tecnologia de QoS para redes IP. Comenta-se que o Frame Relay é uma tecnologia legada, com seus dias contados. No entanto, as pesquisas de satisfação dos usuários de redes Frame Relay mostram um cenário contrário ao menos para os próximos anos, de acordo com a figura 3. As atenções nas redes IP se devem à abrangência da Internet e um cenário futuro em que os problemas de QoS das redes IP para tráfego em tempo real serão contornados.

Voce planeja migrar sua rede FR para um servico IP VPN?



Pesquisa realizada com 503 gerentes de redes corporativas nos EUA  
Agosto 2001

Figura 3 - Intenção de migração do Frame Relay para IP VPN nos EUA. Fonte: *Vertical System Group 2001*.

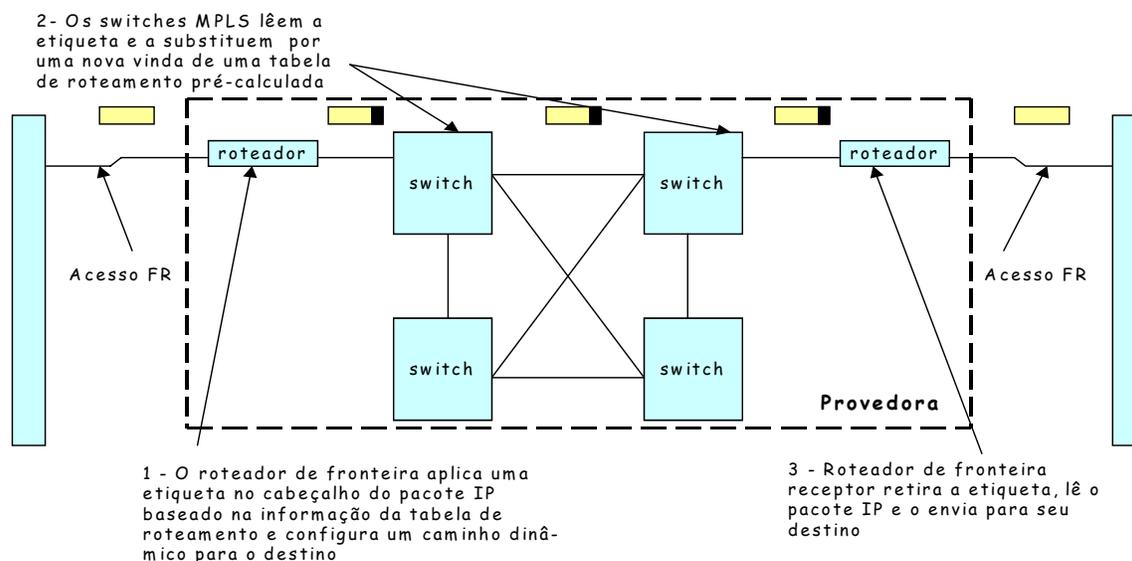


Figura 4 - Topologia de redes IP VPNs utilizando acessos Frame Relay e roteamento MPLS.

Apesar da concorrência entre as tecnologias, o Frame Relay possui a capacidade de coexistir e se conectar em redes IP VPNs, conforme exemplo da figura 4. Pode-se construir redes IP VPNs em acessos Frame Relay, utilizando-se das redes de suporte ao Frame Relay e roteamento MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) como *backbone* de alto desempenho. Na grande maioria das redes corporativas atualmente implementadas em Frame Relay o tráfego dominante na rede é originado de serviços IP.

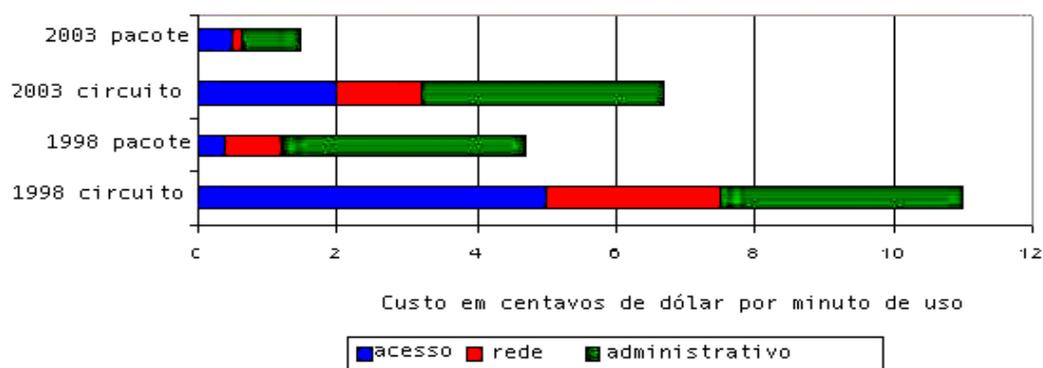


Figura 5 - Redução do custo do minuto tarifado de voz em serviços integrados. Fonte: *Business Communication Review 1998*.

A integração de serviços de voz e dados em uma plataforma de rede modo pacotes é vantajosa, tanto para as provedoras de serviços como para os usuários, uma vez que os custos de acesso, rede e administração do sistema são reduzidos. A figura 5 demonstra os resultados nas ITSPs (*International Telecommunication Services Providers*) em 1998 e projeção para 2003.

### 1.3 - Problema a ser tratado

Os projetos de redes corporativas Frame Relay para o serviço de transporte compartilhado de pacotes de voz e dados IP passam por um processo de ajuste para o serviço de voz. Este processo de ajuste pode ocorrer tanto na implementação inicial como durante o uso normal da rede, em virtude de um aumento considerável no volume de tráfego. O aumento no volume de tráfego geralmente está associado à instalação de uma nova aplicação de rede do usuário ou mudança de perfil de uso das aplicações de rede.

O ajuste da rede para o serviço de voz pode recair em novo planejamento de capacidade, implicando em aumento no custo financeiro do projeto para o cliente. No entanto, antes que isto aconteça, é possível que certos parâmetros possam ser ajustados, a fim de melhorar o desempenho do serviço de voz para o perfil atual de tráfego da rede. Dentre estes parâmetros, o *codec* de voz e o comprimento dos pacotes de dados IP submetidos à fragmentação do Frame Relay merecem atenção especial.

A etapa de ajuste da rede geralmente é trabalhosa, uma vez que a percepção da qualidade de serviço de voz varia de organização para organização e de usuário para usuário.

### 1.4 - Objetivos

*Geral* – aplicar uma metodologia de análise de desempenho para o processo de ajuste dos parâmetros *codec de voz* e *comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP* na implementação de redes corporativas Frame Relay de forma a garantir o melhor desempenho dos serviços de transporte compartilhado de voz em tempo real e transporte de pacotes IP. Entender como estes fatores influenciam no desempenho dos serviços e como se inter-relacionam.

### *Específicos –*

- Levantar todas as características do sistema avaliado;
- Caracterizar a carga de trabalho do sistema;
- Aplicar a metodologia de avaliação de desempenho com um projeto experimental apropriado;
- Implementar o sistema para obtenção dos resultados do projeto experimental;
- Analisar e interpretar os resultados obtidos;

## 1.5 - Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 introduz o leitor ao universo de redes de comutação de pacotes explorado para o serviço de tráfego multimídia em tempo real, caracterizando as redes de telecomunicações (redes de pacotes orientadas a conexão, derivadas das antigas redes de telefonia modo circuito) e as redes de dados (redes não orientadas a conexão, a exemplo das redes IP). Demonstra os aspectos econômicos e tecnológicos para escolha das redes corporativas Frame Relay como ambiente de pesquisa. Apresenta o problema específico a ser tratado e os objetivos a serem alcançados na finalização do trabalho.

O Capítulo 2 realiza uma revisão de literatura e de conceitos relacionados a este trabalho, subdividido em tópicos.

O Capítulo 3 descreve a metodologia a ser empregada e os passos a serem seguidos para a concretização da pesquisa e finalização do trabalho.

O Capítulo 4 descreve o sistema, a aplicação e a obtenção dos dados dos projetos experimentais e a análise dos resultados.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais sobre o estudo, contendo as principais conclusões sobre os resultados obtidos, bem como as contribuições do trabalho, limitações e sugestões para novos trabalhos.

Em anexo são apresentados alguns elementos que fizeram parte de todo o desenvolvimento do trabalho e que acrescentam informações adicionais ao texto. Estão assim dispostos:

Anexo A – Dados de Tráfego do Sistema: estatística de tráfego pelo qual o sistema foi submetido à avaliação, correspondente a carga de trabalho do sistema, e a descrição do método de geração do tráfego.

Anexo B – Parametrização do sistema submetido à avaliação, organizado de acordo com os blocos funcionais do sistema.

## Capítulo 2 - Revisão de Literatura

O Frame Relay é um protocolo de WAN (*Wide Area Network*) de alto desempenho que opera na camada física e na camada de enlace de dados do modelo de referência OSI. Ele surgiu no início da década de 1990 como um aprimoramento de tecnologias mais complexas de comutação de pacotes, como o X.25. Enquanto o X.25 foi otimizado para excelente confiabilidade em circuitos físicos com alta taxa de erros, o Frame Relay foi desenvolvido com a suposição de que a infraestrutura de telecomunicações não seria mais propensa a erros e degradação de qualidade de transmissão como eram antes. Esta suposição permite que o Frame Relay seja mais eficiente e fácil de implementar que o X.25, oferecendo um método econômico para conectar sites remotos, geralmente em velocidades de 64K a 2Mbps.

Comparado ao seu antecessor, o Frame Relay permite maiores taxas de vazão de tráfego em aplicações que requerem a transferência de grandes volumes de tráfego e a oferta de menores valores de latência de transmissão da rede, com a conseqüente redução do tempo de resposta requerida por algumas aplicações interativas conversacionais.

Em relação às tecnologias de comutação de circuitos o Frame Relay também é mais vantajoso em termos financeiros. Oferece mais granularidade na seleção de atribuição de taxa de transmissão do que as linhas dedicadas. O número de circuitos necessários para conectar os sites entre si é menor.

O Frame Relay inclui ainda características de alocação dinâmica de taxa de transmissão e controle de congestionamento para dar suporte a fluxos de tráfego em rajadas. Estas características permitem o uso das redes Frame Relay como suporte de camada 2 do modelo OSI para redes IP.

De fato hoje o Frame Relay se tornou um substituto popular para redes X.25 e linhas dedicadas no segmento corporativo devido a sua eficiência, suporte flexível à taxa de transmissão e baixa latência. É ainda a infraestrutura de acesso de rede mais utilizada para o projeto de redes corporativas de serviços integrados (dados, voz e vídeo) no Brasil e no mundo.

## 2.1 - Trabalhos Relacionados

Nesta seção é apresentado um levantamento de livros, guias de estudo de fabricantes de equipamentos Frame Relay e artigos científicos que têm algum tópico relacionado com os assuntos abordados neste trabalho:

- Hébuterne [3] pretende conceituar QoS para redes de longa distância modo pacotes e as implicações de QoS para redes orientadas a conexão e não orientadas a conexão com a nova visão de serviços integrados. Trata genericamente dos requisitos de QoS, elucida vários termos relacionados a QoS e enfatiza a íntima interação entre QoS e controle de tráfego.
- Kostas et al [4] resume os problemas de implementação de voz na Internet e as barreiras para um aceitável nível de QoS no formato de “desafios” a serem resolvidos na implementação como, por exemplo, encontrar a melhor combinação de *codecs* de voz, a melhor tecnologia de acesso e a melhor arquitetura fim a fim. O artigo considera o *delay* (atraso) da Internet como o maior fator limitante para implementação de voz em tempo real e entende que isto não será resolvido de uma hora para outra. Este artigo é um guia para implementação de voz na Internet, descrevendo técnicas para medição confiável de atraso e perda de pacotes na Internet.
- Ferrari e Verma [5] descrevem um algoritmo para garantir níveis de atraso e taxas de perda de informações em redes modo pacotes de longa distância, orientadas a conexão, e apresenta o tratamento matemático para avaliar estas características e comportamentos, baseado na construção de “canais de tempo real”. O trabalho pretende determinar a viabilidade de uso das redes de comutação de pacotes para o tráfego em tempo real.

- Aurrecoechea et al [6] realiza um levantamento completo e sumarizado do estado da arte na pesquisa de arquiteturas de protocolo para sistemas multimídia distribuídos que incorporam interfaces configuráveis de qualidade de serviço e controle dirigido a QoS, além de mecanismos de gerenciamento através das camadas arquiteturais. O trabalho compara as diferentes arquiteturas propostas em relação a um conjunto genérico de elementos utilizados para implementar QoS em sistemas multimídias distribuídos.
- Gentile et al [7] relatam os problemas de QoS para áudio conferência na transição da solução de voz do modo comutação de circuitos para a comutação de pacotes e determina se as arquiteturas de QoS desenvolvidas para diferentes tecnologias de comutação de pacotes são robustas o suficiente para permitir a migração de serviços de áudio conferência no nível de qualidade das soluções de comutação de circuito. O grupo foca seus estudos na tecnologia IP e a Internet e levanta o que está sendo desenvolvido para sanar os problemas de QoS inerentes a áudio conferência no universo das redes de comutação de pacotes.
- Os documentos da Cisco System [8] e [16] apresentam os mecanismos de QoS apresentados no tópico 2.8 deste trabalho e descrevem como implementá-los nos produtos Cisco.
- Priscilla Oppenheimer em [9] dá um enfoque de análise de sistemas para o projeto de redes corporativas, desenvolvendo uma metodologia para todo o projeto, desde o estudo do negócio do cliente passando pela escolha das tecnologias de redes, planejamento de capacidade, estudo de carga e modelagem até a implementação.
- Enne [10] é um livro de referência nacional para redes Frame Relay. É um compêndio sobre tudo o que se relaciona a redes Frame Relay. Foi a base para desenvolvimento dos tópicos 2.3, 2.4 e parte do tópico 2.5 do trabalho.

- Raj Jain [11] descreve a metodologia de análise de desempenho, empregada no capítulo 3 e 4 deste estudo. É sem dúvida um livro de referência mundial para estudos de análise de desempenho em sistemas computacionais.
- Hwang e Weiss [12] desenvolveram um trabalho para medir os custos refletidos aos clientes na implementação de QoS para tráfego de tempo real em diferentes tecnologias de redes de suporte de longa distância modo comutação de pacotes. Este trabalho mostra que vale a pena, do ponto de vista econômico, todos os esforços para desenvolvimento de níveis aceitáveis de QoS para tráfego em tempo real para IP porque os custos de implementação são bem mais baixos do que para redes com a mesma topologia em ATM, mas que ainda não se pode comparar o nível de QoS destas duas tecnologias porque o ATM é muito superior.
- Hassan et al [13] descrevem os problemas relatados em [4] e [7] e as soluções em desenvolvimento para telefonia IP. O artigo realiza um levantamento geral de produtos e fabricantes deste universo e aponta o que precisa ser resolvido para que a telefonia IP tenha teoricamente um nível de QoS semelhante às redes de comutação modo circuito. O artigo menciona que as implementações para suporte de telefonia IP permitirão um nível de facilidades para o usuário superior às soluções tradicionais de voz.
- Altman et al [14] realizam um estudo sobre as vantagens do emprego de mecanismos de FEC (*Forward Error Correction*) em determinadas circunstâncias para a recuperação de pacotes em aplicações de áudio.
- Baugé et al [15] iniciam os estudos de uma arquitetura para construção de uma rede multimídia local de alta velocidade IP para produção de áudio e vídeo em *broadcast*, como estúdios de televisão. O artigo considera o uso de mecanismos para reserva de banda fim a fim (RSVP) para o tráfego de voz e vídeo em tempo real na rede local de alta velocidade do estúdio.

A seguir serão apresentados os conceitos para entendimento do trabalho, organizados em tópicos.

## 2.2 – Voz em tempo real *versus* redes de comutação de pacotes

Para transportar voz em uma rede de comutação de pacotes as amostras de voz devem ser codificadas (usualmente com alguma forma de compressão), inseridas em pacotes que possuem números de seqüência e carimbos de tempo (*timestamps*), transportadas pela rede, recebidas em *buffer* e decodificadas em ordem seqüencial para gerar a amostra de voz original no formato analógico. Um esquema simétrico é usado em direção oposta para conversação interativa. Todos os tipos de esquemas de transporte em tempo real usam este mecanismo.

Entretanto a redes de modo pacotes impõem certas barreiras para operação destes esquemas, incluindo requisitos de *codecs*, taxa de transmissão, atrasos e perdas.

*Codecs* –

O serviço de voz em tempo real deve operar em um ambiente com restrições de taxa de transmissão, perdas de dados e atrasos. Este ambiente influenciou os esforços de desenvolvimento do ITU-T. Quatro *codecs* do ITU-T foram projetados (G.723.1 6.3Kbps, G.723.1 5.3Kbps, G.729 e G.729A) para trabalhar bem na presença destas restrições. A tabela 2 lista as características dos *codecs*.

	Codec		
	G.723.1	G.729	G.729 A
Taxa transmissão	5.3 / 6.4Kps	8 Kbps	8Kbps
Tramanho do frame	30 ms	10 ms	10 ms
Atraso de processamento	30 ms	10 ms	10 ms
Atraso de correlação	7.5 ms	5 ms	5 ms
Comprimento do frame	20 / 24 bytes	10 bytes	10 bytes
DSP MIPS	16	20	10.5
RAM	2200	3000	2000

Tabela 2 - Taxa de transmissão, atrasos e complexidade dos *codecs* ITU-T [4].

Taxa de transmissão é a taxa de saída requerida pelo codificador quando a entrada é o padrão de codificação 64 Kbps PCM (*Pulse Code Modulation*). *Tamanho do frame* é o tempo de amostragem de voz comprimida dentro de cada *frame*. Atraso de processamento é o tempo requerido para que o algoritmo codifique e comprima um único *frame*. O atraso de correlação (*look – ahead*) é a quantidade de amostra de voz do próximo *frame* a ser codificado, usado para decodificar o *frame* atual com o objetivo de tomar vantagem da correlação.

A latência unidirecional de um *codec* corresponde à soma do tamanho do *frame*, atraso de correlação, atraso de processamento e atraso de decodificação (em geral a metade do atraso devido à codificação). A recomendação G.114 do ITU-T [20] define mais precisamente a latência unidirecional do *codec* pela seguinte fórmula:  $L_c = (N + 1) \times \text{frame size}$  (tamanho do frame) + *look-ahead*, onde N é o número de *frames* de voz agrupados em um único pacote IP a ser transmitido. A fórmula considera que o atraso necessário para o agrupamento de *frames* no pacote é igual a um tamanho de *frame* extra. Esta fórmula pode ser aplicada ao Frame Relay.

Comprimento do *frame* é o número de bytes de um *frame* codificado (excluindo o cabeçalho). DSP MIPS especifica a quantidade mínima de instruções por segundo para que o DSP possa processar o *codec*. A quantidade de memória RAM requerida pelo *codec* é dada em palavras de 16 bits.

Pela tabela 2 se percebe que enquanto o *codec* G.723.1 proporciona a menor taxa de transmissão ele também sofre com os maiores atrasos. O *codec* G.729 requer mais de taxa de transmissão e maior complexidade para um decremento significativo de atraso. O *codec* G.729 A proporciona a mesmo desempenho do G.729 mas com aproximadamente metade da complexidade.

Certos fatores, como a taxa de erro de bit (BER) do circuito de acesso e o número de estações de codificação e decodificação de voz (*tandems*) em uma mesma conexão, podem degradar o desempenho do *codec* em relação à qualidade da voz. O gráfico da figura 6 ilustra os efeitos destes fatores nos *codecs* G.723.1 e ADPCM 32Kbps. Nota-se que o desempenho do G.723.1 é superior ao *codec* ADPCM, submetidos aos mesmos fatores. O *codec* ADPCM requer uma taxa de transmissão 5,3 vezes maior do que o G.723.1 e apresenta desempenho inferior.

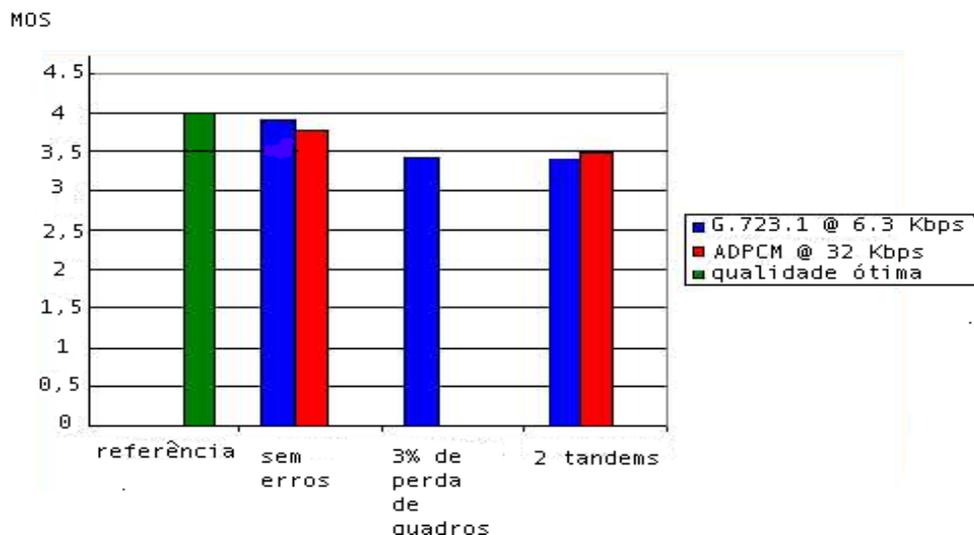


Figura 6 - Influência da taxa de erro de bit e dos *tandems* no desempenho dos *codecs* de voz G.723.1 6,3Kbps e AD PCM 32 Kbps.

O MOS (*Mean Opinion Score*) foi uma escala de pontuação criada e padronizada pelo ITUT-T para medir a qualidade de voz em conexões telefônicas e realizar a avaliação dos *codecs* das recomendações G.721 à G.729. É uma medição estatística derivada de um grande número de assinantes de linhas telefônicas julgando a qualidade de uma conexão, portanto de caráter subjetivo. A pontuação é descrita abaixo:

- 5 - Excelente: degradação imperceptível.
- 4 - Boa: somente perceptível, mas não incômoda.
- 3 - Justa: perceptível e levemente incômoda.
- 2 - Pobre: incômoda mas não censurável.
- 1 – Ruim: muito incômoda e censurável.

A pontuação 5 corresponde à conversação direta entre seres humanos.

#### *Taxa de transmissão –*

Um requisito para o transporte de voz é que suficiente taxa de transmissão esteja disponível na rede. Os pequenos tamanhos de frame do G.729 e do G.729A permitem baixa

latência do *codec*, mas adicionam um significativo *overhead* quando encapsulados nos protocolos de transporte. Já o G.723.1 seria favorável a pequenos usuários que precisam compartilhar toda e qualquer largura de banda disponível com tráfego de dados [4]. Usuários corporativos que possuem acesso direto a circuitos E1 talvez prefiram o G.729.A pelas suas características favoráveis de atraso [4].

#### *Atraso de pacotes e perdas –*

Largura de banda não é o único requisito para qualidade de voz. Cada pedaço do caminho do fluxo de dados, desde codificação, passando pelo transporte até a recepção e decodificação, adicionam atraso na totalidade da transmissão. Alguns atrasos são relativamente fixos, outros dependem das condições da rede. O atraso devido às redes modo pacotes para transporte é não-determinístico por natureza. Se as condições de rede são pobres, a média de atraso entre pacotes e a variação de atraso entre pacotes (*Jitter*) será alta (na ordem de 75 – 300 ms). *Buffers* de recepção podem minimizar o *Jitter* com o custo de adicionar um atraso de *bufferização*; entretanto os pacotes que fogem do ponto de geração de voz são efetivamente perdidos.

A perda de pacotes para voz pode ser disfarçada por técnicas de disfarce dos *codecs*. O G.723.1 interpola um *frame* de voz perdido simulando as características vocais do *frame* anterior e suavemente enfraquece o sinal. Testes em laboratório constataram que taxas de perda aleatórias e independentes de pacotes em até 10% têm pouco impacto na transmissão de conversação de voz usando o G.723.1 [4]. Entretanto, quando a perda ocorre devido a rajadas de tráfego produzidas pelas aplicações IP, pode causar grande impacto no sinal de voz recebido.

Técnicas de FEC (*Forward Error Correction*) têm sido propostas para aliviar as perdas por rajada de um pequeno número de pacotes. A efetividade do FEC na presença de mecanismos de disfarce de perdas ainda não foi rigorosamente estudada [14].

Se a rede não está congestionada é possível satisfazer os requisitos de atrasos e perdas. Se a rede está suficientemente congestionada, um dos requisitos é quebrado. Quando o atraso total do sistema é acima de 300 ms (*round-trip delay*) o serviço de voz parece mais uma conexão *half-duplex* do que conversação interativa [4]. Entretanto a tolerância do usuário em relação ao atraso

varia significativamente de usuário para usuário e aplicação para aplicação. Aplicações corporativas de voz de missão crítica toleram valores de 200 ms ou menos.

*Atrasos de acesso –*

As aplicações de voz estão vulneráveis ao *hardware*, sistema operacional e atrasos de processamento dos *gateways* de redes. Um objetivo realista de projeto deveria ser o de atingir uma latência máxima para o dispositivo de acesso entre 20 – 40 ms, sem incluir a latência do *codec*.

### 2.3 - O protocolo Frame Relay

*Aplicações do Frame Relay –*

- *Interconexão de LANs (Local Area Networks)*: constitui-se hoje a principal aplicação do Frame Relay. As LANs são conectadas a rede de WAN (*Wide Area Network*) Frame Relay através de *bridges*, roteadores multiprotocolo e FRADs (*Frame Relay Access Devices*). Um variado leque de aplicações é atendido pelo Frame Relay nesta configuração, pela comunicação de diferentes LANs conectadas nesta configuração.
- *Tráfego de voz e vídeo*: a se julgar pelas características de comutação de pacotes do Frame Relay, sua utilização como suporte a aplicações de tráfego isócrona vem assumindo importância crescente no mercado corporativo. Atualmente os FRADs e roteadores multiprotocolo realizam a interconexão de dispositivos de voz e vídeo com a rede de acesso Frame Relay.
- *Aplicações IBM* (NETBIOS, SNA subárea, APPN e HPR, etc): pode-se construir redes de arquitetura SNA sobre a rede Frame Relay e rodar as aplicações IBM de rede associadas. Exemplo: interligação de controladoras IBM em sites remotos a um *mainframe* IBM.

- *Acesso de alta capacidade à base de dados*: com o advento de novos serviços de *Hosting* (aluguel de infra-estrutura para montagem dos servidores de banco de dados) e *Collocation* (aluguel de infra-estrutura e servidores de banco de dados) o Frame Relay é boa opção para acesso dedicado de alta capacidade.
- *Suporte ao tráfego IP*: aqui podemos citar todas as aplicações de rede IP (correio eletrônico, *IPSec*, tunelamento, roteamento, etc) que trafegam encapsulados sobre Frame Relay na rede, permitindo também a interconexão com a Internet e redes IP privadas através de roteadores multiprotocolo.
- *Suporte a aplicações distribuídas* : CAD/CAM, transmissão de imagens, etc.

#### *Órgãos de Padronização do Frame Relay –*

A ITU-T (*International Telecommunication Union*) tem emitido diversas publicações sobre o assunto e participam também da padronização o ANSI (*American National Standard Institute*), a IETF (*Internet Engineering Task Force*) e principalmente o FRF (*Frame Relay Forum*).

Outras organizações de padronização se envolvem em menor escala, como a comissão IEEE.802 e o ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*).

Considerando-se a lentidão inerente aos procedimentos rigorosos do ITU-T foi constituído um grupo informal para o Frame Relay, composto por quatro fornecedores de equipamentos, conhecidos como *Group of Four* (*Digital Equipment Corporation, Northern Telecom, Stratacom e Cisco Systems*). Este grupo deu partida no processo de especificação do Frame Relay, emitindo o documento *Frame Relay Specification with Extensions* (referência 001-208966, de setembro de 1990). A partir do embrião do *Group of Four* se originou o Frame Relay Forum. Os padrões do Frame Relay Forum utilizam a sigla FRF.

### *Arquitetura do Frame Relay –*

O serviço Frame Relay é definido como um serviço de comutação de pacotes orientado a conexão, prestado por redes de suporte que oferecem interfaces de acesso Frame Relay a equipamentos terminais de usuários.

O serviço provê a transferência unidirecional e bidirecional de SDUs (*Service Data Units*) entre 2 ou mais interfaces usuário-rede (UNI), preservando a ordem de entrega das SDUs de uma conexão virtual que atinjam o destino.

O serviço não garante a entrega de todas as SDUs que transmite, podendo descartar parte dessas SDUs por ocorrência de erros ou congestionamento na rede.

O Frame Relay não utiliza mecanismos de controle de erros e de controle de fluxo como o X.25. As SDUs são roteadas ao longo da rede de suporte encapsuladas em PDUs (*Protocol Data Units*) de camada 2, mediante o uso de etiquetas contidas nos cabeçalhos destas PDUs, chamados de DLCIs (*Data Link Connection Identifiers*). Os termos SDU e PDU derivam da recomendação X.200 do ITU-T que trata da intercomunicação de sistemas abertos, isto é, sistemas em camadas como o OSI (*Open Systems Interconnection*). SDU descreve o bloco de informação, denominado objeto de dado, e PDU o bloco de informação acrescido do *overhead* do protocolo.

A nomenclatura que descreve a arquitetura do protocolo de enlace Frame Relay, chamado DL –Core, está descrita nas recom. I.233 e I.233-1 do ITU-T.

Em uma PDU, pacotes de dados de usuários não são modificados em hipótese alguma. O Frame Relay simplesmente adiciona um cabeçalho de 2 bytes (16 bits) para o campo de informação, conforme ilustração da figura 7. O tamanho máximo da PDU especificada para o Frame Relay é de 1600 octetos, com *default* de 262 octetos. Entretanto as redes de suporte ao Frame Relay podem suportar PDUs com tamanhos mais elevados, a critério dos respectivos fornecedores.

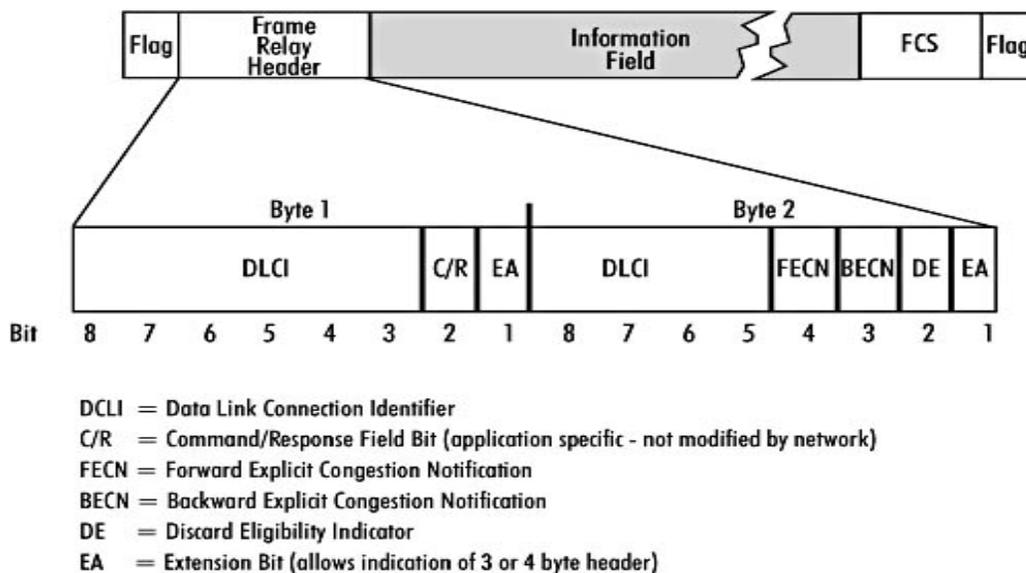
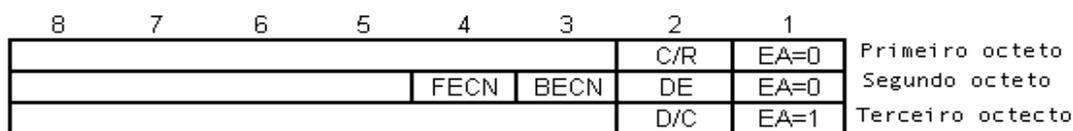


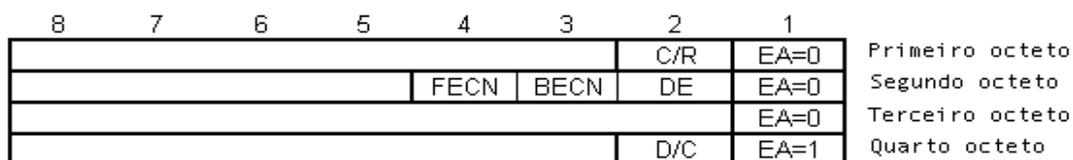
Figura 7 - Estrutura da PDU e formato do cabeçalho para o Frame Relay.

A porção maior do cabeçalho é o DLCI, que contém um número de 10 bits. O DLCI é o número do circuito virtual do Frame Relay (com significado local), o qual corresponde a um destino em particular. No caso de uma interconexão LAN – WAN o DLCI denota a porta para a qual a LAN de destino está conectada.

O tamanho do cabeçalho pode ter, opcionalmente, 3 ou 4 octetos, mediante a indicação do bit EA do subcampo de controle, conforme a figura 8.



a) Campo do endereço do DL-Core com 3 octetos



b) Campo do endereço do DL-Core com 4 octetos

Figura 8 - Campo do endereço DL-Core com 3 ou 4 octetos [10]

O bit D/C (DLCI/Control) indica a natureza dos seis primeiros bits do último octeto do campo endereço, com a seguinte codificação:

- Bit D/C = 0: indica extensão do DLCI;
- Bit D/C = 1: indica controle no DL – Core.

Estas indicações dizem respeito aos 6 bits precedentes a esse bit no octeto que o contém. Caso o bit D/C for 0, em campos de 3 octetos, o DLCI passa a ter 16 bits e se D/C for 1, em campos de 4 octetos, o DLCI passa a ter 23 bits.

O subcampo DLCI do campo cabeçalho do DL – Core na sua condição *default* de 10 bits possibilita a criação de 1024 canais lógicos.

Existem 2 formas de utilização do DLCI:

- *Endereçamento local*: neste caso o DLCI tem significado local, podendo ser ativados 1024 conexões virtuais em cada um dos enlaces físicos de acesso Frame Relay à rede de suporte. Uma conexão virtual resulta na associação entre os DLCIs de 2 interfaces UNI (canais lógicos), incluindo os processos da rede de suporte que dependem do tipo de rede utilizada.
- *Endereçamento global*: o DLCI tem significado global, valendo para os dois acessos Frame Relay. Desta forma o número total de conexões em toda a rede passa a ser somente 1024.

As redes públicas hoje existentes usam o modo de endereçamento local, dispondo da possibilidade de 1024 DLCIs ou canais lógicos por enlace físico. Conforme o ITU-T e o Frame Relay Forum, a disponibilidade para conexões de usuário na realidade é de 976 DLCIs, sendo que 48 DLCIs foram reservados para fins de controle e operação das redes. No caso do ANSI e

do *Group of Four* essa reserva é de somente 32 DLCIs, restando 992 DLCIs para conexões de usuários. A tabela abaixo descreve as faixas de valores de DLCIs designados para diferentes funções de acordo com ITU-T e Frame Relay Forum:

Valores de DLCIs			Funções
Campo de 2 octetos	Campo de 3 octetos	Campo de 4 octetos	
0	0	0	LMI e Sinalização
1 a 15	1 a 1.023	1 a 131.071	Reservados
16 a 991	1.024 a 63.487	131.072 a 8.126.463	CVPs e CVCs
992 a 1007	63.488 a 64.511	8.126.464 a 8.257.535	Gerência de Rede e CLLM
1008 a 1022	64.512 a 65.534	8.257.536 a 8.388.606	Reservados
1023	65.535	8.388.607	Gerência de Canais, mensagens de gerência de interfaces e CLLM

Tabela 3 - Faixas de valores de DLCIs (versões do ITU-T e do Frame Relay Forum) [10].

Observa-se na faixa 16-991 os 976 DLCIs para circuitos de usuários que são válidos nas hipóteses de *conexão semipermanente* (CVP) e de *conexão em demanda* (CVC).

O uso da extensão de octetos só é útil de situações atípicas, quando razões especiais a justifiquem. Isto porque na prática não podemos utilizar um grande número de DLCIs em um acesso físico, pela limitação da taxa de transmissão contratada para escoar a elevada vazão de tráfego de um grande número de conexões virtuais.

Os outros 6 bits do cabeçalho Frame Relay são:

- *C/R (Command/Response)*: Este bit designa se a PDU é um quadro de comando ou resposta.
- *EA (Extended Address)*: O endereço estendido é a adição de 2 ou 3 octetos no cabeçalho Frame Relay que permite uma grande expansão do número de possíveis endereços DLCI.

- FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*): Este bit sinaliza a existência de congestionamento para frente, ou seja, no sentido do fluxo da mensagem.
- BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*): Este bit sinaliza a existência de congestionamento para trás, ou seja, no sentido contrário ao do fluxo da mensagem.
- DE (*Discard Eligibility*): Este bit é usado para indicar que a PDU pode ser descartada pela rede, em preferência a outras PDUs, se ocorrer congestionamento, para manter a taxa de informação comprometida CIR (*Committed Information Rate*).
- *Informação*: o campo de informação pode incluir outros protocolos dentro dele, a exemplo do X.25, IP ou o pacote SDLC (*Synchronous Data Link Control*) usado pela IBM na arquitetura SNA.

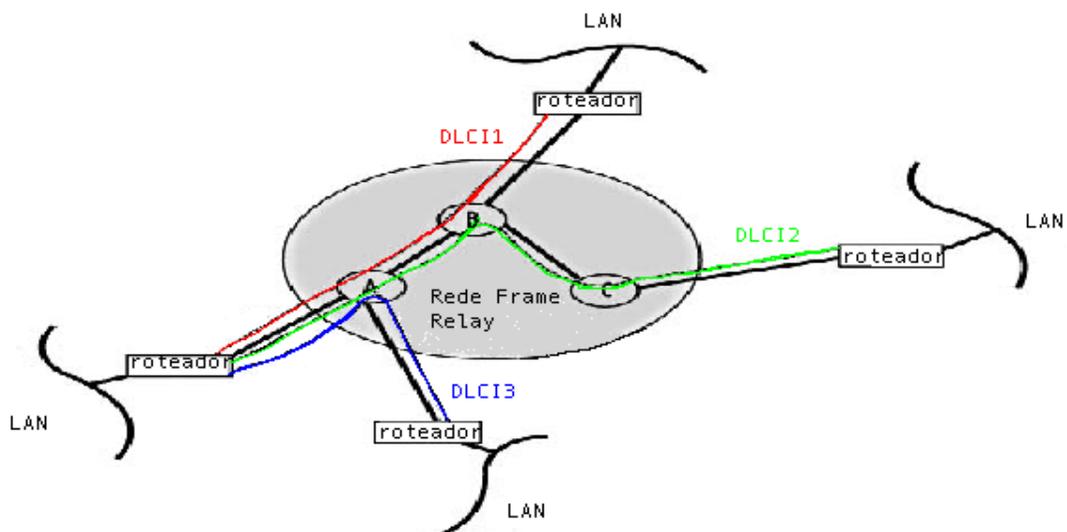


Figura 9 - O DLCI representa a porta de destino que se quer alcançar.

A figura 9 demonstra o caminho definido na rede de suporte de uma provedora de telecomunicações ou uma rede privada, roteando as PDUs Frame Relay para o destino apropriado. A figura considera o serviço de interconexão de LANs, mediante dispositivos de acesso Frame Relay (roteadores multiprotocolo e FRADs). Outros equipamentos poderiam ser

indicados como *bridges*, *hosts*, processadores *front end* ou qualquer outro dispositivo com uma interface Frame Relay.

O DLCI permite a chegada dos dados ao *switch* da rede de suporte (muitas vezes chamados de nó), para ser enviado através da rede. Para isto o *switch* usa um simples processo de três passos:

- Verifica a integridade da PDU, utilizando o campo de 2 bytes FCS (*Frame Check Sequence*). Se ele indicar um erro o quadro é descartado;
- Procura o DLCI em uma tabela – se o DLCI não é definido para esta conexão a PDU é descartada;
- Encaminha a PDU em direção ao seu destino, enviando-a para uma porta ou um tronco especificado na tabela;

Com o objetivo de simplificar o máximo possível o Frame Relay, existe uma simples regra: se existe algum problema com a PDU, descarte-a.

Existem duas principais razões pelas quais uma PDU poderia ser descartada:

- Detecção de um erro no dado;
- Congestionamento (a rede está sobrecarregada).

Mas como pode a rede descartar PDUs sem destruir a integridade da informação? A resposta reside na inteligência existente nos dispositivos finais, como PCs, *workstations* e *hosts*. Estes dispositivos de usuários operam com protocolos de camadas superiores, os quais detectam e recuperam os dados perdidos na rede.

*Interfaces Frame Relay –*

As conexões virtuais do Frame Relay utilizam dois tipos de interfaces, a UNI (interface usuário-rede) e a NNI (interface rede-nó).

A UNI engloba uma série de aspectos relativos à transferência de informações (plano-U), sinalização (plano-C) e à gerência de redes (plano-M). O plano de usuário (plano-U) considera a transferência de informações dos usuários e o controle associado a essa transferência, tais como controle de fluxo e recuperação de erros. O plano de controle (plano-C) considera os processos e funções de controle de chamadas e conexões, englobando a sinalização para estabelecimento, supervisão e liberação de chamadas e conexões. Por fim, o plano de gerenciamento (plano-M) incorpora a todas as funções relacionadas ao gerenciamento das camadas e ao gerenciamento do próprio plano de gerenciamento como um todo na rede.

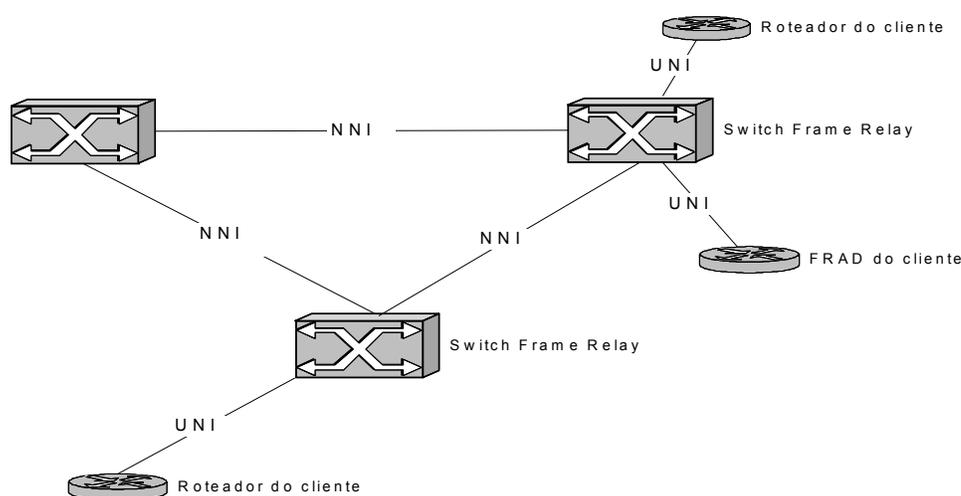


Figura 10 - Interfaces UNI e NNI do Frame Relay

A NNI engloba os mesmos aspectos da UNI e apresenta outros aspectos ainda não definidos claramente, como à tendência atual de uso de redes de suporte multi-interfaces, dentre as quais a UNI do Frame Relay. Um exemplo de rede de suporte multi-interface é o ATM para suporte a serviços orientados a conexão (Frame Relay e X.25) e serviços sem conexão, a exemplo do SMDS (Switched *Multimegabit Data Service*).

A definição da NNI do Frame Relay está sendo solucionada com o uso universal de redes de suporte ATM, embora ainda se encontra *cell relay* com controle de acesso centralizado (protocolo proprietário funcionalmente semelhante ao ATM), redes de suporte operando por datagramas (caso da plataforma DPN-100 da *Northern Telecom*), *cell relay com controle de acesso distribuído* e redes *Frame Relay NNI*.

Nas redes de suporte ATM existe uma particularidade interessante: o acesso à rede de suporte ATM se dá via a UNI do ATM, que requer uma função de interconexão (IWF) entre essa UNI e a UNI do serviço suportado. O mesmo caso se observa quando se quer trafegar X.25 sobre uma interface Frame Relay NNI.

### *Concepção e Desenvolvimento do Frame Relay –*

As bases de concepção do protocolo são as redes X.25, com a simplificação da camada de enlace de dados e a eliminação da camada de rede.

A transferência de dados da UNI do Frame Relay tem como base as recomendações X.36 e Q.922 do ITU-T e o padrão FRF 1.1 do Frame Relay Forum.

A sinalização na UNI do Frame Relay é definida nas recom. Q.933 e X.36 (*amendment 1*) da ITU-T e no padrão FRF.4 do Frame Relay Forum.

A transferência de dados na NNI do Frame Relay é definida pelas recom. X.76 e I.372 da ITU-T e pelo padrão FRF 2.1 do Frame Relay Forum e a sinalização na NNI definida pela recom. X.76 do ITU-T e pelo padrão FRF.10 do Frame Relay Forum.

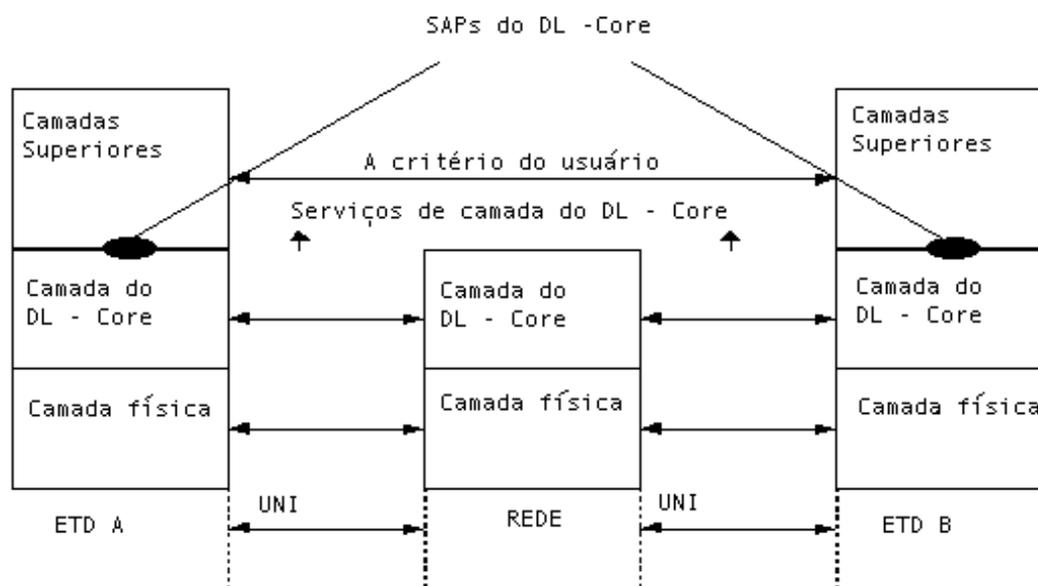


Figura 11 - Configuração de serviços no plano – U da UNI do Frame Relay [10]

### *Serviços de Enlace de Dados no Plano-U -*

Os serviços de enlace de dados no plano-U da UNI do Frame Relay são denominados *Core Services*, definidos nas recom. I.233-1 do ITU-T. A configuração básica é descrita na figura 11.

Na figura 11 a camada DL –Core é a provedora de serviço de enlace de dados e a camada acima do DL – Core é a usuária destes serviços, prestada nos DL-Core-SAPs (DL-Core-Service Access Points), também chamado CSPs (*Core Services Points*). A camada acima do DL-Core, de acordo com o usuário do serviço, pode ser orientada a conexão (*DL-Control* e X.25, por exemplo) ou sem conexão (MAC e IP, por exemplo). Os serviços do DL-Core consistem em três fases: estabelecimento de conexão, transferência de dados e desconexão.

### *Descrição dos Serviços no Plano – U –*

Baseia-se no anexo C da recom. I.233-1 da ITU-T, que contém a definição abstrata dos serviços do plano-U da UNI do Frame Relay, pressupondo a definição de parâmetros de qualidade de serviço (QoS) no ato de estabelecimento das CVPs ou CVCs, de tal forma que esses parâmetros são transparentes aos serviços de transferência de dados. Neste caso o DL-Core não conduz estes parâmetros em seu *overhead*, ou seja, as redes de suporte utilizam estes parâmetros com base em associações envolvendo os DLCIs de cada uma das conexões virtuais estabelecidas.

Neste modelo existe uma fila independente para cada direção do fluxo de informações. Essas filas ocorrem nas entidades prestadoras de serviços de enlace de dados, localizadas nos dispositivos terminais e nas terminações de rede dos *switches* ou nós das redes de suporte, embora as entidades usuárias desses serviços se localizem apenas nos dispositivos terminais de usuários. Os objetos de dados (SDUs do DL-Core, também chamados de CSDUs) só podem ser incluídos na fila correspondente pelo usuário dos serviços. O mesmo ocorre na retirada dos objetos da fila, obedecendo à mesma ordem de inclusão.

O provedor de serviços (entidade da rede de suporte) pode descartar CSDUs em caso de detecção de erros ou de congestionamento, considerando a indicação de prioridade para descarte provenientes das entidades usuárias de serviços ou das próprias entidades provedoras de serviços

(bit DE = 1, configurado pelas camadas superiores localizadas nos terminais ou, como regra básica, pelas terminações da rede de suporte).

#### *Primitivas de Serviços no Plano U -*

Os serviços de transferência de informações da UNI Frame Relay utilizam as primitivas de serviço *DL-Core-Data.request* e *DL-Core-Data.indication*. Os serviços considerados são do tipo não confirmados por se tratar de processos de transferência de informações. Em caso de descarte, entrega equivocada ou entrega fora de seqüência de PDUs, a primitiva *DL-Core-Data.indication* não é entregue ao usuário de destino, causando a intervenção corretiva de uma camada superior fim-a-fim (normalmente a camada de transporte).

#### *Encapsulamento de Protocolos pelo DL-Core -*

Objetivando a padronização dos procedimentos para encapsulamento de protocolos pelo DL –Core foram emitidos alguns padrões: Anexo E da recom. Q.933, Anexo D da recom. X.36, o Anexo F do padrão ANSI T1.617A, o padrão FRF 3.1 e a RFC 1490 da IETF.

O ponto fundamental reside na definição da forma de multiplexação estatística para transmissão dos protocolos encapsulados pelo DL – Core, de tal forma que cada uma das SDUs seja corretamente encaminhada, no destino, para o respectivo processo de camada superior ao Frame Relay.

As seguintes formas de encapsulamento foram definidas para o Frame Relay:

- *Associação de cada protocolo superior a um circuito virtual*: as SDUs são encapsuladas de forma exclusiva em um circuito virtual, de modo que essa conexão fique associada a este protocolo;
- *Encapsulamento por porta de acesso*: utilizada em casos específicos, consiste no uso de uma função IWF (*InterWorking Facility*) para cada protocolo a ser

encapsulado no DL – Core. Como esta função é específica para um determinado protocolo, a identificação deste protocolo no destino ocorre naturalmente;

- *Encapsulamento com o campo de controle do LAP – F não numerado*: a identificação do protocolo encapsulado se dá mediante o campo de controle sem sua funcionalidade plena;
- *Encapsulamento com o campo de controle do LAP – F numerado*: o campo de controle com funcionalidade plena.

As duas últimas formas consistem na inclusão dos campos *Identificador de Protocolo de Camada de Rede* (NLPID) e *Controle*, derivado do protocolo LAP – F, entre a camada DL – Core e a camada de rede.

Para a construção de redes Frame Relay corporativas é utilizada uma classe de NLPIDs específicos, uma vez que os principais protocolos inter-redes possuem códigos NLPIDs específicos. Neste caso o campo de controle assume um valor fixo 03 (hexadecimal) e a identificação do protocolo de camada superior é regida pelo campo NLPID. O formato do quadro DL – Core nesta situação está descrito na figura 12.

1 octeto	2 octetos	1 octeto	1 octeto	N octetos	2 octetos	1 octeto
Flag	DL - Core (endereço)	Control = 03	NLPID	Informação (datagrama do protocolo inter- redes)	DL - Core (FCS)	Flag

Figura 12 - Formato do DL – Core utilizando apenas o NLPID.

Para o encapsulamento do protocolo IP o NLPID assume o valor CC hexadecimal.

O NLPID assumindo valor 08 hexadecimal permite uma gama de codificações para o encapsulamento de protocolos em interconexão de *bridges*, arquitetura SNA e NETBIOS; o

NLPID com valor 80 hexadecimal permite a codificação para encapsulamento do protocolo inter-redes IPX e para os protocolos inter-redes de LAN através da codificação *Ethertype*.

O campo de controle numerado é utilizado somente no protocolo de rede ISO8208. Nesta aplicação o campo C / R do DL – Core é utilizado.

## 2.4 - Controle de Tráfego e Congestionamento do Frame Relay

Em uma rede modo pacotes, o congestionamento ocorre quando o tráfego em um circuito virtual, ao chegar em determinado recurso da rede (processadores, memórias e meios de transmissão), juntamente com outros circuitos virtuais, faz exceder a capacidade projetada para este recurso. Outras razões, como falha técnica da rede, podem gerar congestionamento também.

O objetivo dos mecanismos de controle de tráfego e congestionamento é manter os parâmetros de qualidade de serviço (QoS) dentro do que foi negociado para os circuitos virtuais. Esses parâmetros dizem respeito a vazões de tráfego, retardos de trânsito e à justiça na distribuição de recursos entre os usuários de rede.

Existem dois tipos de controle no Frame Relay:

- *Controle de tráfego*: policiamento do tráfego e notificação do congestionamento;
- *Controle de congestionamento*: descarte de PDUs.

Os objetivos dos mecanismos de controle de tráfego são:

- Minimizar o descarte de PDUs;
- Manter as classes de QoS negociadas, com alta probabilidade e mínima variância;

- Minimizar a possibilidade de um usuário final monopolizar o uso da rede, em detrimento dos demais usuários;
- Causar pouco *overhead* para a rede e para o terminal do usuário;
- Limitar a extensão do congestionamento para outras redes ou outros elementos da própria rede;
- Operar bem, a despeito do fluxo de tráfego, em qualquer das duas direções dos circuitos virtuais.

Os objetivos dos mecanismos de controle de congestionamento são os mesmos que os de controle de tráfego, com a adição do propósito de assegurar a recuperação da rede, de um estado de congestionamento severo para um estado normal.

#### *Policimento de Tráfego -*

O objetivo do policiamento de tráfego na entrada de dados de um nó da rede é o cumprimento, pelos usuários, dos parâmetros de tráfego negociados para o acesso. Para as CVPs a negociação ocorre na subscrição ao serviço e para as CVCs ocorre na fase de estabelecimento dos circuitos virtuais. O policiamento é uma atividade de controle de tráfego e diz respeito a cada um dos circuitos virtuais das interfaces físicas.

Os parâmetros de tráfego negociados para um circuito virtual podem ser simétricos (iguais nas duas direções) ou assimétricos. Esses parâmetros são:

- *Committed Information Rate* (CIR) – é a taxa de vazão máxima na entrada de dados de um circuito virtual, assegurada pela rede em condições normais de tráfego. É uma média de tráfego em um intervalo de tempo  $T_c$ , calculado pela rede.

- *Committed Burst Size* ( $B_c$ ) – é a máxima quantidade de bits que o usuário pode enviar para a rede num determinado circuito virtual, durante um intervalo de tempo  $T_c$ .
- *Excess Burst Size* ( $B_e$ ) ou *EIR* (*Exceeded Information Rate*) – é a máxima quantidade de bits que o usuário pode enviar para a rede num determinado circuito virtual, durante o  $T_c$ , em excesso ao  $B_c$ .

Cálculo, pela rede, do parâmetro  $T_c$  (*Committed Rate Measurement Interval*):

$$T_c = \frac{B_e}{\text{Veloc. de acesso}}$$

O valor de  $T_c$  deve corresponder a valores próximos a um segundo, portanto na maioria das aplicações o valor de  $B_c$  é aproximadamente o valor da CIR. Esse valor permanece registrado na terminação de rede, junto com os valores negociados de parâmetros.

As terminações de rede medem continuamente a quantidade de bits ( $Q_b$ ) que entram em cada circuito virtual no acesso físico, para cada período de tempo  $T_c$ . Em cada um dos próximos tempos  $T_c$ , podem ocorrer três hipóteses:

- Se  $Q_b < B_c$ , o tráfego do circuito virtual entra na rede com o bit DE = 0 (menor probabilidade de descarte da PDU pela rede). Portanto, o usuário respeitou a CIR;
- Se  $Q_b > B_c$ , e  $Q_b < B_c + B_e$ , o usuário não respeitou a CIR, mas manteve o tráfego dentro do limite tolerável. Neste caso, o tráfego  $B_c$  entra na rede com DE = 0, mas o tráfego superior a  $B_c$  entra na rede com DE = 1 (para eventual descarte no interior da rede, com maior probabilidade de descarte que as PDUs contidas no limite  $B_c$ );
- Se  $Q_b > B_c + B_e$ , o usuário ultrapassou a margem tolerável de tráfego. Neste caso, o tráfego  $B_c$  entra na rede com DE = 0, o tráfego  $B_e$  entra na rede com DE = 1 e o

excesso de tráfego sobre  $B_c + B_e$  já é descartado na entrada, independente do congestionamento da rede naquele instante.

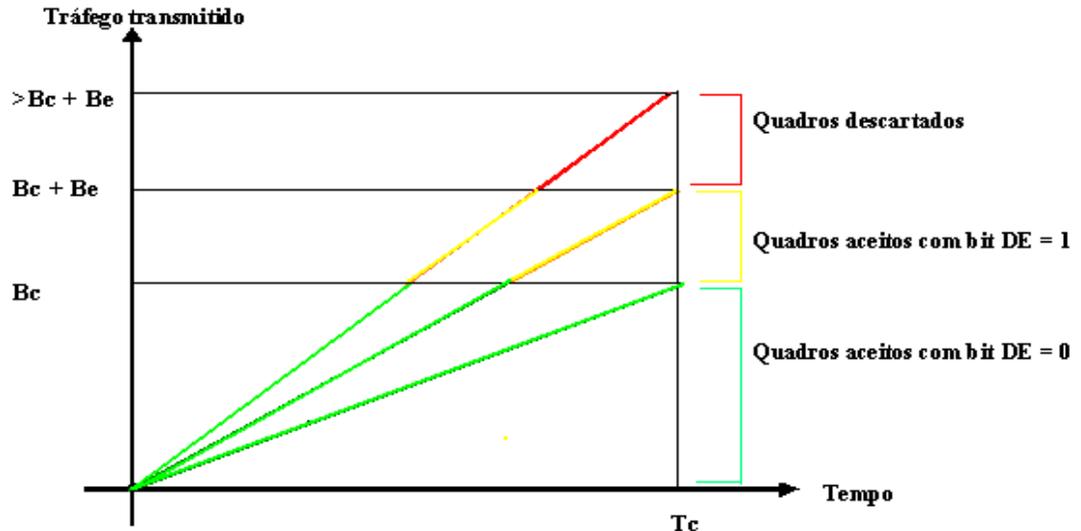


Figura 13 - Visão cartesiana do mecanismo de policiamento de tráfego [10]

Observações:

- Como na maioria das aplicações a CIR é maior que zero, para que não ocorra o descarte já na entrada da rede, deve-se fazer com que  $B_e = \text{Taxa de Transmissão do Circuito de Acesso} - \text{CIR}$ .
- Para o caso da CIR igual ao valor da taxa de transmissão do circuito de acesso, não cabe nenhuma forma de policiamento ou punição ao tráfego que entra na rede.

*Notificação de Congestionamento –*

O controle de tráfego possui mecanismos de notificação de congestionamento para evitar o agravamento de situações de congestionamento nas redes. Existem três formas de notificação de congestionamento:

- *Notificação explícita pelos bits FECN e BECN:* Esses bits estão contidos no cabeçalho da PDU e a realização das notificações é feita em geral pelas redes e não pelos terminais de usuários. No início de uma transmissão, o equipamento de

usuário A envia a PDU com os bits FECN = 0 e BECN = 0. Se ocorrer congestionamento na rede no sentido do fluxo da mensagem, o bit FECN é configurado para 1 pelo nó de rede. Se o congestionamento é no sentido oposto ao da mensagem, o bit BECN é que é configurado para 1. Se houver congestionamento nos dois sentidos, ambos os bits são configurados para 1. A reação de um equipamento de usuário ao receber uma notificação pelo bit BECN, é em geral a simples redução da vazão de tráfego por ele gerado. Ao receber a notificação pelo bit FECN, o equipamento de usuário deve repassar essa informação para o ETD (equipamento terminal de dados) que gerou a PDU, para algum tipo de reação deste visando à redução da vazão de tráfego.

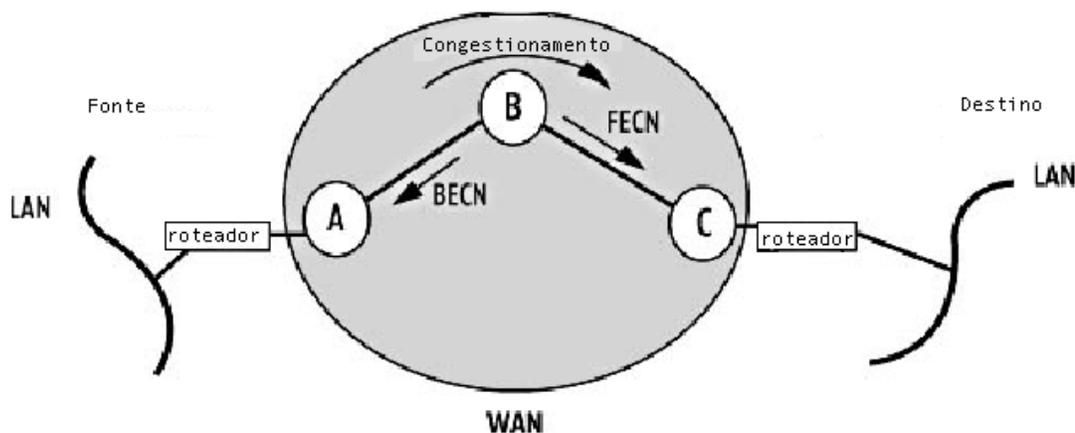


Figura 14 - Mecanismo de notificação de congestionamento pelos bits FECN e BECN

- *CLLM (Consolidated Link Layer Management)*: como a eficácia dos mecanismos baseados nos bits FECN e BECN depende da imprevisível geração de tráfego pelos equipamentos de usuário foi definido o CLLM, baseado na utilização de PDUs XID (*Exchange Information*) definidas no protocolo HDLC (*High Level Data Link Control*) e no padrão ISO 8885. É um protocolo que permite às redes notificarem os equipamentos do usuário da ocorrência de problemas como congestionamento, falhas de facilidades e ações de manutenção nas redes. As mensagens do CLLM informam problemas no sentido oposto ao da notificação,

como no caso das notificações pelo bit BECN. O uso do CLLM não exclui a possibilidade de notificação pelos bits FECN e BECN. É possível também o uso do protocolo CLLM para interromper totalmente o fluxo de tráfego que entra em um determinado enlace físico, cujos circuitos virtuais apresentem volume de tráfego de entrada elevado, podendo comprometer seriamente o desempenho da rede. Para este caso, a mensagem CLLM deverá ter um código de causa.

- *Notificação implícita:* neste tipo de notificação os equipamentos de usuário podem utilizar algoritmos para detecção de congestionamento na rede, a partir de mecanismos de controle de erros e de fluxo de algum protocolo fim a fim, normalmente protocolos de transporte, como o TCP/IP (*Transfer Control Protocol*). Existem situações em que o equipamento de usuário recebe pouco tráfego em uma ou algumas de suas conexões virtuais, tendo pouca chance de recebimento de bits BECN. Nestas situações, a notificação implícita é importante. As reações de equipamentos de usuário ocorrem no protocolo fim a fim, sendo este processado nas estações de LAN e as ações a serem tomadas devem ser no sentido de reduzir o congestionamento.

### *Controle de Congestionamento –*

O significado básico do controle de congestionamento é a recuperação de estados de congestionamento pelas redes, tendo como mecanismo básico o descarte de PDUs após sua aceitação pela rede. No controle de congestionamento, as redes devem monitorar, para cada sentido de transmissão dos enlaces de conexão, a relação entre a carga oferecida na entrada do enlace de conexão e a vazão efetiva de tráfego.

Na figura 15 se observa que, na primeira região da figura (antes do ponto A), não ocorre congestionamento e descarte de PDUs. A relação entre a vazão de tráfego e a carga oferecida é linear.

À medida que a carga oferecida aumenta, ocorre também o aumento progressivo da latência de transmissão no enlace de conexão considerado, e a partir do ponto A se inicia a região de congestionamento moderado. São iniciados os seguintes processos a partir do ponto A:

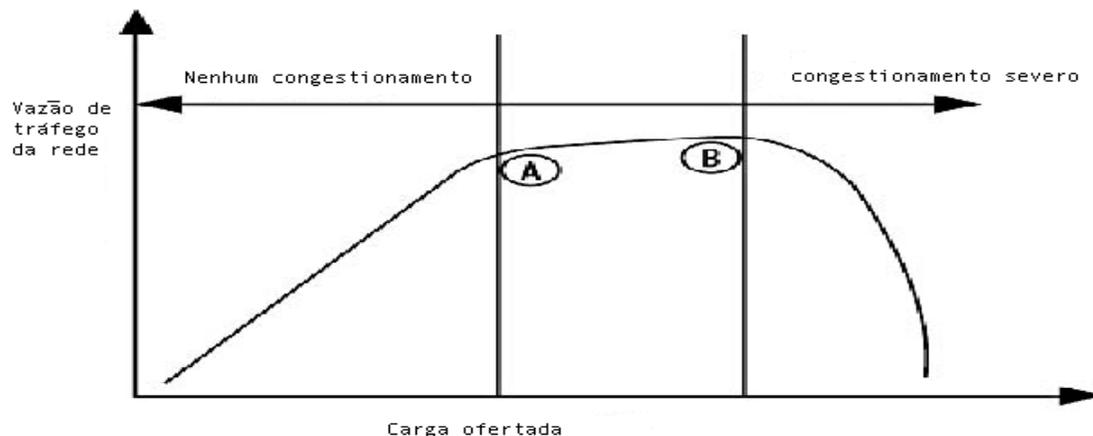


Figura 15 - A relação entre a vazão efetiva de tráfego e a carga oferecida [24]

- Descarte de PDUs que esteja com bit DE=1;
- Acionamento dos mecanismos de notificação explícita de congestionamento.

A definição do ponto A é feita pelos fornecedores de redes, quando se alcança um nível de ocupação das facilidades do enlace, entre 60% e 90%.

A partir do início do descarte de PDUs começa um processo no qual a carga oferecida cresce mais que a quantidade de PDUs descartados, já que os protocolos fim a fim, membros da família HDLC, baseiam-se na repetição de todos os PDUs subseqüentes ao PDU descartado. Neste ponto é necessário que os equipamentos de usuário envolvidos reduzam o tráfego por eles gerado.

Entre os pontos A e B a curva de vazão efetiva deixa de ser linear, já que o aumento de carga oferecida não significa aumento proporcional da vazão efetiva.

A fase de congestionamento severo inicia a partir do ponto B, quando a rede passa a descartar também PDUs com bit DE = 0, na medida necessária para retornar ao ponto A, pelo menos. Um critério possível é descartar PDUs com DE = 0 para manter a vazão física de tráfego estacionada no seu valor de ponto B.

A vazão de tráfego vista pela aplicação leva em conta a crescente repetição de PDUs devido ao descarte. Após o ponto B, o percentual de tráfego repetido cresce tanto, que o número absoluto de não repetidos passa a diminuir.

Também se deve levar em conta que a latência de transmissão, não mostrada na figura 15, cresce com a carga oferecida, porém em nenhuma região da curva proporcionalmente. A partir do ponto A, a latência tem variação crescentemente maior, conforme o congestionamento da rede

evolui. A partir do ponto B a variação de latência cresce mais ainda, em virtude da elevação crescente das taxas de congestionamento.

## 2.5 - Voz sobre Frame Relay

Para especificar o uso do Frame Relay como suporte à aplicação de voz a ITU-T emitiu a recomendação G.764, enquanto o Frame Relay Forum emitiu a FRF.11.

A diferença fundamental entre essas abordagens diz respeito à participação da rede Frame Relay no processo de transmissão de voz, o que se verifica somente nas recomendações da ITU-T.

A recomendação G.764 da ITU-T define o embasamento para o transporte de informação de voz e sinalização por canal associado sobre rede modo pacotes faixa larga, dentre as quais se encontram as redes Frame Relay.

Embora os órgãos ITU-T e Frame Relay Forum tenham emitido suas recomendações, alguns fabricantes de roteadores e FRADs desenvolveram protocolos proprietários para a transmissão de voz em Frame Relay.

A Motorola, por exemplo, utiliza um protocolo chamado *Voice Relay*. Este protocolo tem como característica o uso das funções de roteamento e configuração de chamadas (*call setup*) do protocolo X.25 para a criação de CVCs de voz dentro da rede. O *frame* de voz codificado é inserido em uma SDU *Anexo G* para posterior encapsulamento em uma PDU Frame Relay. O *Anexo G* permite maior segurança no envio dos pacotes de dados e voz encapsulados, mas adiciona um atraso devido ao *overhead* gerado, e permite a construção de até quinze CVCs de voz simultâneos.

A arquitetura do serviço *Voice Relay* da Motorola é mostrada na figura 16.

Flag	DLCI	Campo de informação		FCS	Flag
Pacote de dados		Segmentador de quadro	SDU Anexo G ou Bypass		
Pacote de voz		Cabeçalho VR	Informação de voz		

Figura 16 - Estrutura do serviço *Voice Relay* (VR) da Motorola

Os protocolos de camada superior podem ser transmitidos em SDUs *bypass* (sem *overhead* X.25) ou *Anexo G*.

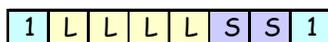
Tipicamente as SDUs *bypass* são usadas para transportar protocolos com mecanismos de correção de perdas de pacotes. É o padrão utilizado para encapsular IP na implementação da Motorola.

O *Anexo G*, além de ser o formato padrão de SDU para o encapsulamento do *Voice Relay*, garante o transporte de protocolos de camadas superiores da arquitetura SNA, a exemplo do SDLC.

A implementação da Motorola adiciona um cabeçalho de 2 bytes para as PDUs de um enlace de dados quando a função de segmentação de quadros é habilitada e 1 byte de cabeçalho *Voice Relay* para as PDUs de um enlace de voz.

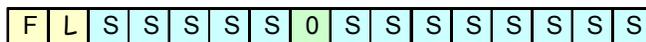
O cabeçalho segmentador de quadro e o cabeçalho *Voice Relay* são estruturados de acordo com a figura 17.

#### Cabeçalho Voice Relay



- Sempre 1. Usado para identificar um cabeçalho Voice Relay
- Número do canal lógico de voz (0 - 14)
- Informação de sinalização do canal de voz (livre, ocupado, chamando, não chamando)

#### Cabeçalho Segmentador de Quadro



- Indicadores de primeiro e último segmento
- Número de sequência (0 - 8191)
- Sempre 0. Usado para identificar um cabeçalho Segmentador de Quadro

Figura 17 - Estrutura dos cabeçalhos para o serviço *Voice Relay* da Motorola.

A segmentação ou fragmentação das PDUs de dados em tamanho fixo possibilita maior controle da latência e *Jitter* entre as PDUs de voz transmitidas, contribuindo para a manutenção dos requisitos de QoS para voz.

Este protocolo de fragmentação também é proprietário, embora a Motorola já esteja suportando a recomendação padrão FRF.12.

O *Voice Relay* da Motorola suporta diversos *codecs* de voz, incluindo as recomendações G.723.1 e G.729.A do ITU-T, e a transmissão de *fac-símile*.

A Cisco utiliza a recomendação FRF.11 para o serviço de voz. Os objetivos básicos da FRF.11 são os seguintes:

- Transporte de voz comprimida em uma PDU Frame Relay;
- Suporte a diversos algoritmos de compressão de voz;
- Utilização efetiva de conexões Frame Relay de baixa velocidade;
- Multiplexação de até 255 subcanais em uma única conexão virtual;
- Suporte a múltiplos *frames* de voz em um único ou em vários subcanais, dentro de uma mesma PDU Frame Relay;
- Suporte a subcanais de dados e *fac-símile*.

A informação de voz, codificada pelos algoritmos de codificação/compressão, é transportada no campo de informação da PDU Frame Relay, conforme definição da FRF.11. Informações de sinalização, dígitos discados e sinais de *fac-símile* são também transportadas, observando as respectivas sintaxes de transferência.

De acordo com a FRF.11 as aplicações que utilizam voz sobre Frame Relay são denominadas genericamente de VoFR (Voz sobre Frame Relay).

O serviço VoFR é operacionalizado nos roteadores multiprotocolo que se situam entre os equipamentos terminais de voz e a rede de acesso Frame Relay pela função VFRAD (*Voice over Frame Relay Access Device*). A função VFRAD disponibiliza *hardware* e *software* para conexão de diversas interfaces de voz analógicas e digitais aos equipamentos terminais Frame Relay, permitindo a conexão desde um telefone ou fax até troncos digitais de centrais telefônicas ao serviço VoFR.

A FRF.11 utiliza o conceito de multiplexação estatística por subcanais de voz em uma mesma CVP, semelhante ao *Voice Relay* da Motorola. Vale mencionar, porém, que o limite

máximo de subcanais de voz em uma mesma CVP para o *Voice Relay* é 15, enquanto que para a FRF.11 é 255.

A figura 18 permite uma melhor definição do conceito de multiplexação dos serviços de voz em Frame Relay usando a FRF.11.

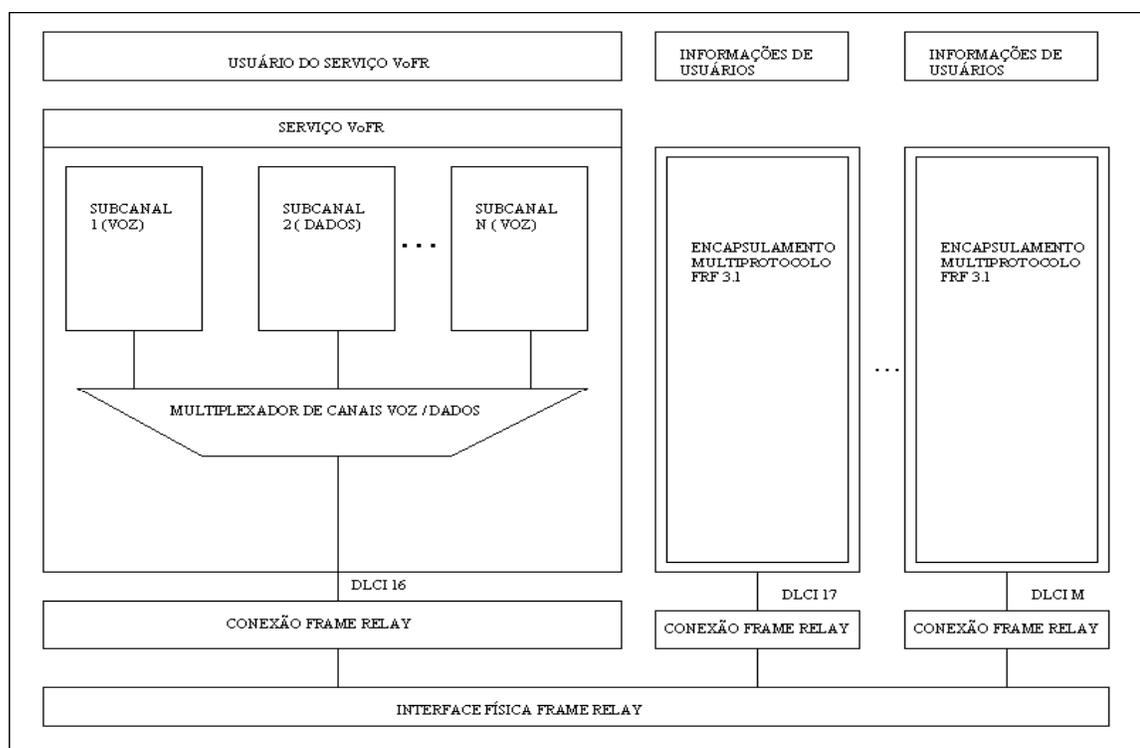


Figura 18 - Modelo de multiplexação estatística por subcanais [10]

O conteúdo dos subcanais de um serviço VoFR pode constituir diferentes grupos para transmissão em diferentes PDUs Frame Relay da conexão virtual que suporta o serviço VoFR. Cada subcanal produz subquadros de informação de voz que são multiplexados na CVP com número seqüencial. Um grupo de subquadros seqüenciais pode ser transportado em uma única PDU Frame Relay e a continuidade desta seqüência em outra PDU, mesmo que seja somente mais um subquadro.

O formato genérico de uma PDU Frame Relay, encapsulando um subquadro FRF.11, é mostrado na figura abaixo:

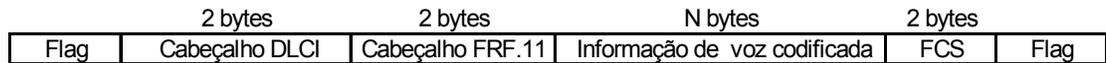


Figura 19 - Subquadro FRF.11 encapsulado em Frame Relay

O conteúdo dos subquadros pode ser dos seguintes tipos:

- Dígitos discados (anexo A da FRF.11);
- Bits de sinalização (Anexo B da FRF.11);
- *Relay de fac-símile* (Anexo D da FRF.11);
- Descritor de informações de silêncio;
- Informação de voz codificada (*payload* primário).

A comunicação entre dois dispositivos VoFR só se realiza se em ambos os dispositivos o mesmo *codec* de voz for utilizado, ou seja, mesma sintaxe de transferência. As sintaxes de transferência foram divididas em duas classes na FRF.11, em função das taxas de transmissão dos *codecs*:

- *Classe 1*: esta classe suporta a recom. G.727 e *codecs* de velocidades de 32, 24 e 16 Kbps;
- *Classe 2*: esta classe suporta os *codecs* de velocidade reduzida. Aqui se enquadram os *codecs* G.729.A e G.723.1.

As topologias para o projeto de redes de voz em Frame Relay são apresentadas a seguir:

- *Conexão telefone - telefone*: conexão direta entre telefones mediante roteamento da CVC de voz por análise de dígitos ou simplesmente ao tirar o monofone do gancho, no aparelho telefônico originador da chamada (*hot line*). Para cada telefone é disponibilizada uma interface denominada FXS (*Foreign Exchange Station*);

- *Conexão ramal telefônico - PABX*: ramais em diferentes pontos da rede podem se conectar a uma central PABX remota, geralmente localizada no ponto central da rede, através do Frame Relay. Para cada telefone é disponibilizada uma interface FXS e para cada posição de ramal remota correspondente uma interface FXO (*Foreign Exchange Office*). Todos os serviços disponíveis nesta configuração de rede de voz são possíveis, como ligação ramal a ramal, atendimento automático de ligações de entrada nos troncos do PABX e central de telefonista para ligações externas;
- *Conexão PABX - PABX*: esta topologia permite a troca de dígitos e sinalização entre troncos de centrais de comutação de voz através do Frame Relay. Vários serviços são disponibilizados nesta configuração, como discagem direta a ramal, grupo de atendimento, teleconferência e outros serviços digitais. As centrais PABX podem se conectar aos FRADs mediante interfaces de tronco analógicas (E&M I, II, III, IV e V) e digitais (E&M digital, QSIG, ISDN PRI, SS7, R2D).
- *Topologia mista*: pode-se projetar redes de voz em Frame Relay interligando troncos de PABX, ramais, telefones e linhas *hot line* em uma única topologia de rede.

## 2.6 - Topologia de Redes Frame Relay e conceito de subinterface

As redes Frame Relay são projetadas freqüentemente em uma topologia de raios. Um roteador do site central nessa topologia pode ter várias conexões lógicas para os sites remotos com apenas uma conexão física para a WAN, simplificando a instalação e o gerenciamento e reduzindo o custo com circuitos de acesso.

Um problema desta topologia é que o horizonte dividido pode limitar o roteamento, ou seja, os protocolos de roteamento de vetor de distância não repetem informações fora da interface em elas foram concebidas. Isso significa que os dispositivos da rede 300 da figura 20 não aprendem sobre dispositivos da rede 400 e vice-versa, porque o roteador do site central só anuncia a rede 100 quando envia sua tabela de roteamento para fora da interface de WAN.

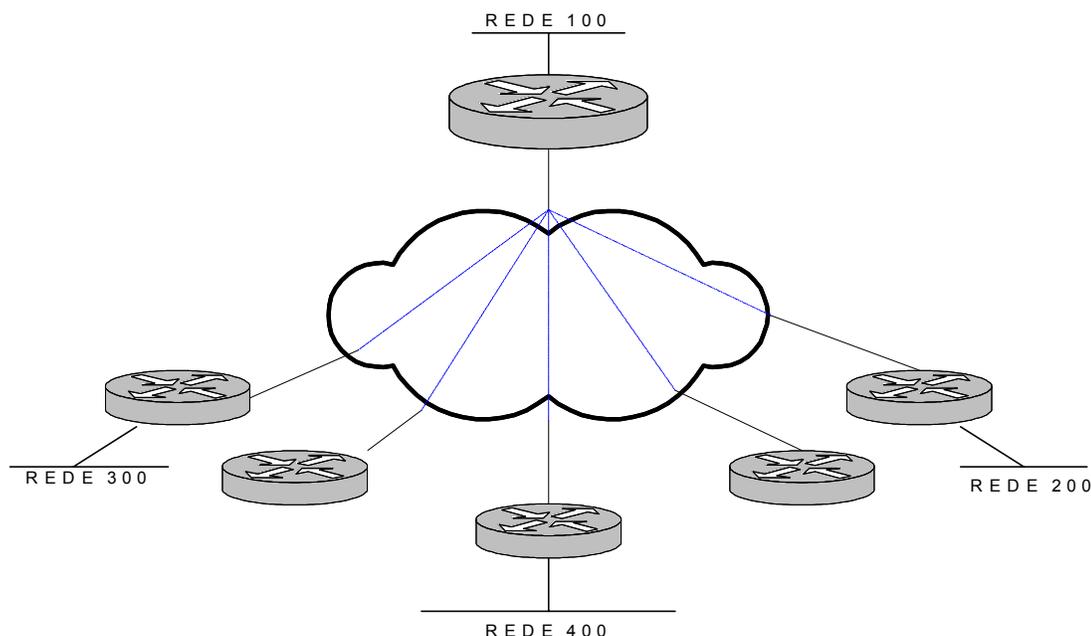


Figura 20 - Exemplo de topologia de raios em Frame Relay

A função de horizonte dividido é automaticamente desativada, em uma topologia de raios Frame Relay, quando são usados os protocolos IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*) e *Enhanced IGRP*. RIP (*Routing Information Protocol*) também permite a desativação do horizonte dividido.

Uma solução para este problema seria usar uma topologia de malha completa com circuitos físicos entre cada site. A desvantagem desta abordagem é o custo. Na topologia da figura 20 em vez de 6 circuitos teríamos 15. Perde-se uma das principais vantagens do Frame Relay que é a redução do número de circuitos de acesso e, como consequência, redução no custo do projeto.

Outra alternativa é usar subinterfaces. Uma subinterface é uma interface lógica que está associada a uma interface física. Cada subinterface está associada a uma CVP Frame Relay com seu respectivo DLCI. Na figura 20 o roteador central poderia ter 5 subinterfaces definidas, cada uma se comunicando com um dos sites remotos. Assim o roteador aplica a regra do horizonte dividido para interfaces lógicas ao invés de interfaces físicas e inclui os sites remotos nas atualizações de roteamento de saída da interface de WAN.

Uma desvantagem desta alternativa é que as configurações dos roteadores são mais complexas. Outra desvantagem é a necessidade de mais endereços de rede, uma vez que a subinterface necessita de um endereço de rede. Redes corporativas geralmente são construídas

com endereços de redes privados que disponibilizam um grande número possível de endereços para subredes.

Com as subinterfaces cresce também o tráfego de difusão nos circuitos físicos e a carga de processamento da CPU dos roteadores. Estes problemas são minimizados utilizando roteamento estático quando a rede é de pequeno porte e há relativa facilidade de montar a tabela de roteamento manualmente.

Para redes de maior porte o que se faz é limitar o tráfego de difusão de protocolos dinâmicos de roteamento entre as subinterfaces que interligam roteadores centrais e utilizar roteamento estático para subinterfaces que interligam os roteadores centrais aos sites remotos. Para tanto, os roteadores centrais necessitam de maior capacidade de processamento e deve ser considerado o tráfego de difusão no planejamento de capacidade dos circuitos físicos entre os roteadores centrais.

## 2.7 - Planejamento de Capacidade

Planejamento de capacidade, segundo Menascé [17], é o processo que visa prever quando o nível de carregamento futuro do sistema será saturado, considerando os aspectos de custo/benefício e o tempo que levará para o sistema saturar. Essa previsão é realizada com base no processo de evolução da carga de trabalho do sistema existente, de novas aplicações e de novos níveis de serviços.

Um dos mais importantes desafios de gerentes de instalações de processamento de dados é o planejamento de capacidade. Jain [11] cita que o objetivo do planejamento de capacidade é gerar um nível aceitável de serviço computacional à organização ao responder às demandas de carga geradas pelo sistema. Sendo assim, o planejamento de capacidade ajuda a prever como o sistema se comportará em determinadas situações, a exemplo do aumento da carga de trabalho. Portanto, um planejamento de capacidade eficaz requer que se entenda o relacionamento às vezes conflitante entre as necessidades do sistema, a carga computacional, a capacidade computacional e o nível de serviço requerido.

Por outro lado, o termo “gerenciamento de capacidade” é usado para denotar o problema de assegurar que os recursos computacionais disponíveis sejam usados de modo a proporcionar o maior desempenho (usufruir o máximo dos recursos).

Enquanto o gerenciamento de capacidade é relacionado ao presente, o planejamento de capacidade se focaliza no futuro, segundo Jain [11]. Ou seja, o planejamento de capacidade não se focaliza principalmente nas atividades do dia a dia, mas sim no que vai acontecer no futuro (uso de perspectivas futuras).

*Algumas Justificativas do Uso de Planejamento de Capacidade -*

Planejamento de capacidade é importante para convencer o gerente da organização sobre a importância da previsão, justificando o tempo e o custo envolvido, e considerando os seguintes aspectos:

- *Descontentamento do usuário* – sem planejamento apropriado, é provável que o desempenho sofra com os picos de cargas. Os usuários podem ser forçados a esperar uma quantidade de tempo excessiva. No caso em que os usuários são os clientes da empresa, isso pode resultar em negócio perdido. O planejamento de capacidade apropriado pode ajudar a identificar os gargalos antes que ocorram, impedindo a maioria de problemas relacionados a desempenho;
- *Diminuição da produtividade* – se o sistema não puder assegurar o *throughput* previsto, a produtividade pode sofrer degradação;
- *Estabilidade* – identificando áreas de problemas e limitações da capacidade, os problemas de estabilidade podem ser evitados ou previstos. Esses problemas geralmente ocorrem em picos de carga do usuário. O planejamento de capacidade apropriado permite que se identifique quando os problemas são prováveis de ocorrer, auxiliando, assim, com antecedência, na preparação para resolver o problema ou impedir que ele aconteça.

### 2.7.1 - Planejamento de Capacidade em redes Frame Relay

O planejamento de capacidade em projetos de redes corporativas Frame Relay está relacionado principalmente ao correto dimensionamento da taxa de *throughput* dos circuitos de

acesso e das conexões virtuais, a fim de impedir gargalos no sistema que afetariam a qualidade dos serviços prestados pela rede.

A seguir será apresentado alguns conceitos e regras aplicáveis ao projeto de redes corporativas Frame Relay:

- A taxa de transmissão do circuito de acesso da conexão HUB (conexão central da rede na topologia de raios) deve ser igual ou maior do que a soma das CIRs nos sites remotos e menor ou igual à soma das capacidades de rajadas (EIR) dos sites remotos.
- Considera-se  $EIR = 0$  para a CVP de voz, devido à característica de alocação determinística de taxa de transmissão para o tráfego de voz (fluxo constante e definido).

A CIR para o serviço de voz é dimensionada em função da taxa de transmissão do canal de voz multiplicado pelo número de canais necessários.

O número de canais de voz é solicitado pelo cliente em função das estimativas de ligações simultâneas de entrada e saída por site e das facilidades de voz pré-existentes. Geralmente o cliente já possui uma rede de voz e pretende migrar para uma solução integrando as redes de dados e voz em uma única infraestrutura de rede, a fim de reduzir custos. Desta forma o projetista já vai encontrar na própria rede dedicada de voz o número de canais necessários (correspondentes ao número de troncos ou linhas telefônicas das facilidades de voz em cada site).

Exemplo de cálculo da taxa de transmissão por canal de voz com o uso do *codec* G.729.A e o protocolo FRF.11 para o Frame Relay:

- A velocidade de compressão do *codec* é de 8Kbps;
- A G.729.A exige uma taxa de transmissão de 50 pacotes por segundo usando amostragens de voz de 10 ms;
- Serão agrupados 2 *frames* de voz por pacote (este agrupamento pode ser ajustado na G.729.A);
- 1 byte de número de seqüência é acrescentado para cada pacote;
- O cabeçalho do Frame Relay acrescenta 2 bytes no tamanho do pacote;
- O cabeçalho do FRF.11 acrescenta 2 bytes no tamanho do pacote;
- 2 bytes de FCS.

**Cálculo do comprimento do pacote de voz:** 20 ms (2 frames de voz de 10 ms) x 8 Kbps (velocidade de compressão) / 8 bits/byte = 20 Bytes; 20 bytes + 1 byte de número de seqüência = 21 bytes.

A taxa de pacotes por segundo do *codec* é calculada dividindo-se a velocidade de compressão do *codec* pelo comprimento do pacote de voz em bits (sem considerar o byte de número de seqüência, que é inserido pelo protocolo de voz). Logo, 8 Kbps / 20 bytes x 8 bits/byte = 50 pps.

**Comprimento da PDU de voz Frame Relay:** 21 bytes (comprimento do pacote de voz) + 6 bytes de cabeçalho = 27 bytes

**Cálculo da taxa de transmissão do canal de voz:** 27 bytes/pacote de voz x 8 bits/byte x 50 pps = 10,8 Kbps

A Tabela 4 apresenta a taxa de transmissão do canal de voz para diferentes *codecs* nos protocolos IP e Frame Relay.

Algoritmo de Compressão	Taxa de transmissão de pacotes (pps)	Comprimento do pacote (bytes)	Largura de banda (bps)	
			Frame Relay	IP/UDP
8k CVSELP	50	21	10800	21600
Bundled 8k CVSELP	25	41	9800	14800
Enhanced 8k Bundled CVSELP	8.3	117	8200	9960
16k CVSELP	50	41	18800	29600
Bundled 16k CVSELP	25	81	17800	22800
Enhanced 16k Bundled CVSELP	8.3	237	16200	17930
5.3k G.723.1	33	21	7200	14260
Bundled (2) 5.3k G.723.1	17	41	6267	10060
6.3k G.723.1	33	25	8267	15310
Bundled (2) 6.3k G.723.1	17	49	7333	11150
Bundled (2) 8k G.729A	50	21	10800	21600
Bundled (3) 8k G.729A	33	31	9867	16900
Bundled (4) 8k G.729A	25	41	9400	14800
Bundled (5) 8k G.729A	20	51	9120	13440

Tabela 4 - Taxa de transmissão do canal de voz para diferentes *codecs* em Frame Relay e IP.

Para determinação da CIR de uma CVP para tráfego IP os projetistas de rede Frame Relay geralmente consideram a CIR a metade da taxa de transmissão do circuito de acesso. O cliente solicita a CIR baseado em estudos do tráfego gerado pelas aplicações IP da rede. Devido ao vários fatores envolvidos na caracterização de tráfego da rede gerado pelas aplicações IP, a

estimativa de carga de tráfego da rede tem pouca probabilidade de ser precisa. A meta é simplesmente evitar a presença de gargalos críticos no projeto.

Como o tráfego IP tem comportamento dinâmico, com rajadas de tráfego, os acessos Frame Relay fazem uso de mecanismos de fila das redes de suporte que permitem a admissão de rajadas equivalentes a  $2 \times \text{CIR}$  (*serviço standard*) e  $4 \times \text{CIR}$  (*serviço premium*) em um intervalo de tempo  $T_c$ . Quando não há tráfego na CVP de voz o tráfego IP pode ocupar toda a banda do circuito de acesso, mas quando a vazão de tráfego ultrapassar o valor  $B_c$  os pacotes IP estarão sujeitos a descarte pela rede. Na prática, quando a taxa de tráfego IP chegar a ponto A da figura 15, os mecanismos de controle de congestionamento entram em ação e a vazão efetiva de pacotes IP começa a declinar. Do ponto A até o ponto B da figura 15, os níveis de atraso de transmissão para os pacotes de voz serão crescentes, podendo afetar o serviço de voz, voltando a normalidade quando os dispositivos terminais Frame Relay normalizarem o tráfego pelas notificações de BECN e FECN. A partir do ponto B os pacotes de voz são descartados juntamente com os pacotes de dados e o serviço de voz é comprometido. O mecanismo de priorização e uso de CVPs independentes para o tráfego de voz e dados, discutidos no próximo tópico, permite que pacotes Frame Relay de voz sejam descartados somente a partir do ponto B.

## 2.8 - Mecanismos de QoS em redes corporativas Frame Relay

Para a manutenção dos requisitos de QoS de voz ao longo da rede, faz-se necessário o uso e a configuração de certos mecanismos do Frame Relay, das redes de suportes e dos equipamentos terminais. A descrição destes mecanismos é apresentada a seguir:

### *Fragmentação de PDUs Frame Relay -*

A fragmentação Frame Relay reduz o comprimento das PDUs que encapsulam protocolos com elevado MTU (*Maximum Transfer Unit*). A presença de longas PDUs de dados em um circuito Frame Relay de baixa taxa de transmissão pode causar atrasos inaceitáveis para o serviço de voz.

Em projetos de redes corporativas Frame Relay, em que se faz o uso de CVPs independentes para o tráfego de voz e dados, geralmente a fragmentação é aplicada somente na CVP que transporta o tráfego de dados.

Isto permite que as PDUs de dados sejam multiplexadas com tamanho fixo, juntamente com as PDUs de voz no circuito de acesso Frame Relay. Reduz-se, desta forma, a latência de transmissão ao longo da rede para o serviço de voz.

Realizar a fragmentação nas PDUs de dados implica em aumentar o tempo de resposta para as aplicações de dados, que são geralmente são bem menos sensíveis à latência de transmissão do que a aplicação de voz .

A fragmentação é configurada nos equipamentos terminais Frame Relay para a interface lógica associada à conexão virtual de dados, em ambas as terminações da conexão.

A recomendação G.114 do ITU –T [20] determina uma latência de transmissão unidirecional da rede em torno de 150 ms, para garantia de qualidade de aplicações de voz em redes modo pacotes.

Considera-se como latência de transmissão a soma de todos os atrasos unidirecionais existentes em uma conexão fim a fim da rede. Os atrasos podem classificados em atrasos fixos e atrasos variáveis:

- *Atrasos fixos*: correspondem aos atrasos referentes à propagação (6 microsegundos por km), serialização e processamento dos pacotes (codificação - compressão - empacotamento e descompressão);
- *Atrasos variáveis*: correspondem aos atrasos gerados pelos *Dejitter Buffers* (responsáveis pela redução do efeito *Jitter*), pelas filas de rede e pelos pacotes de tamanho variáveis.

O tempo que um circuito de acesso 64 Kbps precisa para transmitir um pacote de 1500 Bytes (MTU do IP para Ethernet) é:  $64 \text{ Kbps} / 8 \text{ bits/byte} = 8 \text{ KBps}$      $t = 1,5 \text{ KB} / 8,0 \text{ KBps} = 187 \text{ ms}$ .

Se neste mesmo circuito de acesso fosse multiplexado o tráfego de voz, somente o atraso gerado pela transmissão do pacote de 1500 bytes, entre dois pacotes de voz serializados, já quebraria a meta de 150 ms de latência de transmissão da G.114. Desconsidera-se neste cálculo o

atraso gerado pelo *overhead* do Frame Relay. Neste caso a qualidade do serviço de voz não é garantida e a aplicação do mecanismo de fragmentação é necessária.

Valores típicos de atraso para a rede de suporte Frame Relay são em torno de 40 ms. O atraso de sincronização para um circuito de acesso 64 Kbps é de aproximadamente 3 ms. O atraso gerado pelos *buffers* de redução de *Jitter* é de aproximadamente 40 ms [18].

Supondo, como exemplo, o *codec* G.729.A com 2 *frames* de voz por pacote, teríamos uma latência unidirecional do *codec* de 45 ms (vide fórmula do tópico 2.2).

Tamanho do PDU (bytes)	Velocidade do circuito de acesso (Kbps)										
	19.2	56	64	128	256	384	512	768	1024	1544	2048
38	15.83	5.43	4.75	2.38	1.19	0.79	0.59	0.4	0.3	0.2	0.15
48	20	6.86	6	3	1.5	1	0.75	0.5	0.38	0.25	0.19
64	26.67	9.14	8	4	2	1.33	1	0.67	0.5	0.33	0.25
128	53.33	18.29	16	8	4	2.67	2	1.33	1	0.66	0.5
256	106.67	36.57	32	16	8	5.33	4	2.67	2	1.33	1
512	213.33	73.14	64	32	16	10.67	8	5.33	4	2.65	2
1024	426.67	149.29	128	64	32	21.33	16	10.67	8	5.31	4
1500	625	214.29	187.5	93.75	46.88	31.25	23.44	15.63	11.72	7.77	5.86
2048	853.33	292.57	256	128	64	42.67	32	21.33	16	10.61	8

Tabela 5 - Atrasos de serialização de PDUs de diferentes comprimentos, em função da velocidade do circuito de acesso (ms) [18].

O atraso de serialização pode ser calculado subtraindo da latência de transmissão recomendada pela G.114 os atrasos fixos e variáveis da rede. Obtém-se, para o exemplo anterior, um atraso permitido de até 22 ms. Conforme a tabela 5, os pacotes IP poderiam ser fragmentados em blocos de até 128 bytes para serialização.

- O cálculo do tamanho do fragmento deve se basear sempre na menor velocidade de circuito de acesso de uma conexão virtual.

Pode-se trabalhar reduzindo o comprimento do pacote de dados ou aumentando a taxa de transmissão do circuito de acesso para reduzir a latência de transmissão.

Para implementações em roteadores Cisco foi desenvolvida a tabela 6 que recomenda o tamanho do fragmento em função da CIR da conexão virtual.

<b>CIR (CVP)</b>	<b>Comprimento do fragmento (Bytes)</b>
< = 64Kbps	80
128 Kbps	160
256 Kbps	320
384 Kbps	480
> = 512 Kbps	640

Tabela 6 - Tamanho do fragmento em função da CIR para implementações Cisco.

*Construção de CVPs separados para dados e voz –*

A construção de CVPs separadas para dados e voz permite um controle eficiente do requisito de alocação uniforme de taxa de transmissão para o tráfego de voz ao longo da rede. Os mecanismos de QoS do Frame Relay são utilizados com funcionalidade plena.

Se a CIR for corretamente dimensionada para a taxa de transmissão requerida pela aplicação de voz, as PDUs Frame Relay que encapsulam voz jamais serão eleitas para descarte em condições normais e moderadas de tráfego. Somente a partir do ponto B da figura 15 elas poderiam ser descartadas. A desvantagem desta topologia é o aumento do custo do acesso Frame Relay com a construção de mais CVPs na rede.

*Priorização dos pacotes de voz Frame Relay –*

A construção de CVPs separadas permite que o tráfego de determinada CVP tenha prioridade na rede em relação à(s) CVP(s) concorrente(s). Esta priorização é configurada nas redes de suporte e está relacionada ao gerenciamento das filas de rede. Em uma situação de congestionamento primeiro serão descartados os pacotes que trafegam na(s) CVP(s) de mais baixa prioridade. O tráfego de voz em sua respectiva CVP deverá sempre possuir a mais alta prioridade para garantia a qualidade do serviço, uma vez que o serviço de voz é sensível a perda de pacotes por descarte devido à situação de congestionamento da rede.

### *Mecanismos de QoS para o tráfego de voz e dados em uma única CVP –*

Foram desenvolvidos alguns mecanismos para permitir um certo controle de QoS de voz quando a implementação, geralmente por questões de custo, requer a configuração de somente uma CVP multiplexando o tráfego de voz e dados.

- *Traffic Shapping*: configura-se nas interfaces lógicas associadas as CVPs nos dispositivos terminais de usuário. Este mecanismo impede que o tráfego na CVP passe do limite Bc especificado. Nesta implementação, pode-se configurar uma CIR mínima e uma CIR máxima igual a Bc. Dimensiona-se a CVP para que a taxa de transmissão requerida pelo tráfego de voz permaneça dentro da CIR mínima e o tráfego de dados possa ser limitado na CIR máxima, permitindo maior volume de tráfego de dados pela rede.
- *Fragmentação*: as PDUs de dados e voz multiplexadas na CVP são fragmentadas, a fim de controlar os atrasos de serialização de PDUs de comprimento variável para o tráfego de voz.. Esta opção realiza uma transferência de tráfego de quadros de tamanho fixo, emulando o protocolo ATM.
- *WFQ (Weighted Fair Queue)*: este mecanismo permite um melhor compartilhamento de taxa de transmissão da rede entre o tráfego de voz e dados pelo controle e justiça no fluxo das filas de *buffer* dos equipamentos terminais Frame Relay.

## 2.9 - Avaliação de Desempenho

Segundo Jain [11], escolher uma técnica de avaliação e escolher uma métrica são dois passos importantes em qualquer projeto de avaliação de desempenho.

As três técnicas de avaliação de desempenho são modelagem analítica, simulação e medição. Existem várias considerações que ajudam a decidir qual técnica usar.

Critério	Modelagem Analítica	Simulação	Medição
1. Etapa	Qualquer	Qualquer	“Protótipo Final”
2. Tempo Disponível	Pequeno	Médio	Variável
3. Ferramentas	Analistas	Linguagens Computacionais	Instrumentação
4. Precisão *	Baixa	Moderada	Variável
5. “Equilíbrio de Parâmetros”	Fácil	Moderado	Difícil
6. Custo	Pequeno	Médio	Alto
7. Aceitabilidade	Baixa	Média	Alta

Tabela 7 - Critérios para Seleção de uma Técnica de Avaliação.

Essas considerações são mostradas e ordenadas na Tabela 7, em ordem decrescente de importância. Em todos os casos os resultados podem ser enganosos ou errados.

A principal consideração é a fase do ciclo de vida em que o sistema se encontra. Medição somente é possível se algo similar ao sistema proposto já exista, como quando se deseja melhorar a versão de um produto. Se for um projeto novo, somente se pode escolher modelagem analítica ou simulação. Essas técnicas são usadas também quando a medição não é possível, mas geralmente é mais convincente, nas outras situações, se a modelagem analítica ou a simulação forem baseadas em uma medição prévia.

A próxima consideração é o tempo disponível para a avaliação. Na maioria dos casos, os resultados são requeridos com urgência. Se for esse o caso, a modelagem analítica é, provavelmente, a única escolha. Simulações tomam bastante tempo. Medição geralmente é mais demorada do que modelagem analítica e mais rápida do que simulações. A medição é condenada mais frequentemente que outra técnica, pois, popularmente, diz-se que “se algo pode dar errado, acontecerá” (*Lei de Murphy*). Como resultado, o tempo necessário para a medição é o mais variável entre as três técnicas.

Sobre disponibilidade de ferramentas, incluem-se habilidades em modelagem, linguagens de simulação e instrumentos de medida. Muitos analistas de desempenho são habilidosos em

modelagem. Eles nem entram em contato com o sistema real. Outros, não tão hábeis em teoria de filas, preferem medir ou simular. A falta de conhecimento de linguagens e técnicas de simulação mantém muitos analistas distantes da simulação.

O nível de precisão desejado é outra consideração importante. Geralmente, a modelagem analítica requer muitas simplificações e suposições, de forma que resultados inesperados podem surpreender os analistas. Simulações podem incorporar mais detalhes, requerem menos suposições e freqüentemente estão mais próximas da realidade. Medições, apesar de soar como uma coisa real, podem não gerar resultados precisos simplesmente porque muitos parâmetros, tais como configuração do sistema, tipos de cargas de trabalho e tempo de medição, podem ser únicos para o experimento. Além disso, os parâmetros podem não representar o alcance de variação encontrado no mundo real. Desse modo, a precisão dos resultados pode variar de muito alta para nenhuma, quando se usa a técnica de medição.

O objetivo de todo estudo de desempenho é também comparar diferentes alternativas para encontrar um valor ótimo. Modelos analíticos geralmente têm a melhor visão sobre o efeito da interação entre os parâmetros. Com simulação é possível buscar a melhor combinação de valores dos parâmetros, mas freqüentemente não fica clara qual relação de compensação existe entre os parâmetros. Medição é a técnica menos desejável nesse sentido. É difícil dizer que a melhora do desempenho é resultado de modificações aleatórias em algum parâmetro em particular.

O custo destinado ao projeto é bastante importante. A medição exige instrumentos e tempos reais, e é a mais cara das três técnicas. Simulação é uma boa alternativa pela facilidade de alteração de configurações, principalmente em sistemas muito caros. Modelagem analítica somente requer papel e lápis (e o tempo do analista), sendo essa a mais barata das alternativas.

A aceitabilidade dos resultados é chave para justificar o custo. É fácil convencer alguém se houver medições reais. Muitos duvidam dos resultados analíticos porque não entendem a técnica e os resultados finais. De fato, quem utiliza técnicas de modelagem analítica geralmente faz a validação usando simulação ou medição.

Às vezes é interessante usar duas ou mais técnicas simultaneamente. Por exemplo, pode-se usar simulação e modelagem analítica juntas para verificar e validar os resultados de cada uma. Até que se provem culpadas, todas as pessoas são inocentes. Nessa sentença, até ser validado, o resultado de uma avaliação é suspeito. Portanto, deve-se validar a simulação com

modelagem analítica ou medição; validar a modelagem analítica com simulação ou medição; e validar a medição com simulação ou modelagem analítica.

Em particular, a necessidade da terceira regra é para enfatizar a validação dos resultados de uma medição. Essa é a mais freqüentemente ignorada das três regras. Medição é tão susceptível a erros de experimentação e *bugs* quanto as outras duas técnicas.

Duas ou mais técnicas podem ser usadas seqüencialmente; por exemplo, em um caso, um modelo analítico simples foi usado para encontrar o limite apropriado para os parâmetros do sistema, e a simulação foi usada mais tarde para estudar o desempenho naquele limite. Isso reduziu o número de execuções das simulações consideravelmente e resultou em um uso mais produtivo dos recursos.

## 2.10 - Parâmetros de interfaces de telefonia

Para conectar um dispositivo telefônico em um roteador ou outro dispositivo que operacionalize a função VFRAD é necessário o uso de interfaces de telefonia digitais e analógicas, brevemente discutidas no tópico 2.3.

Em um estudo de avaliação de desempenho de redes de comutação de pacotes para o transporte de voz, os parâmetros relacionados às interfaces de telefonia devem ser conhecidos e controlados. Estes fatores são listados a seguir:

- *Equalização de impedância de linha:* o telefone e a porta analógica no dispositivo Frame Relay necessitam ter uma impedância de linha equivalente nas duas pontas da conexão. O desequilíbrio de impedância provoca um fenômeno de reflexão do sinal de voz transmitido, no sentido contrário a transmissão, chamado eco. O padrão brasileiro de impedância de linha para equipamentos de telefonia é 600 ohms;
- *Relação sinal / ruído:* o sinal de voz deve estar o máximo possível isolado do sinal de ruído de fundo. Corresponde a diferença entre o nível de potência do sinal de voz e o nível de ruído de fundo;

- *Nível de potência de transmissão*: um nível de potência muito alto no sistema pode provocar a distorção da voz. Este efeito pode ser ilustrado quando em uma ligação telefônica parece que a pessoa do outro lado da linha está falando “dentro de uma lata”. Um nível muito baixo de potência também prejudica a compreensão da voz (volume baixo);
- *Diafonia*: quando o nível de transmissão ou de recepção está muito alto é possível a ocorrência de interferência entre o sinal de voz na transmissão e recepção da interface de voz;
- *Cancelamento de eco*: parâmetro ajustável do sistema que permite a atenuação do sinal de eco devido ao desequilíbrio de impedância de linha;
- *Amplificação e atenuação do sinal de voz*: parâmetro ajustável do sistema que permite a amplificação ou atenuação do sinal de voz na interface de voz, geralmente para compensação de perdas de linha ou redução de nível excessivo na fonte de sinal.;
- *VAD (Voice Activity Detection)*: a conversação tem como característica períodos de atividade de voz intercalados a períodos de silêncio. Estudos indicam que 50% de uma conversa é silêncio. Para impedir que o *codec* tenha que processar os períodos de silêncio foi criado o mecanismo VAD. Este mecanismo permite a redução da taxa de transmissão exigida pelo *codec*, mas transmite ao usuário a sensação de que a ligação foi interrompida quando não há atividade de voz. Esse efeito é minimizado com a geração de um “falso” ruído de fundo nas interfaces de voz dos dispositivos FRADs.

O capítulo a seguir descreverá a metodologia a ser empregada na avaliação de desempenho proposta neste trabalho.

## Capítulo 3 - Metodologia de Pesquisa

Para o estudo de avaliação de desempenho de um determinado sistema é necessário que uma metodologia seja empregada. Esta metodologia deve ser baseada em passos comuns implementados em diversos estudos de avaliação de desempenho bem sucedidos. Estes passos são descritos a seguir, de acordo com Jain [11]:

- *Estabelecer objetivos e definir o sistema a ser avaliado:* o primeiro passo em qualquer estudo de avaliação de desempenho é definir os objetivos e delinear as fronteiras do sistema em estudo. A identificação e escolha das fronteiras do sistema afetam as métricas de desempenho e a carga de trabalho usada para comparar os sistemas. É uma questão chave no estudo de desempenho;
- *Listar os serviços e resultados providos pelo sistema:* cada sistema fornece um conjunto de serviços e resultados que devem ser listados. Alguns serviços fornecem resultados desejados ou não para o estudo de avaliação de desempenho. Esta lista é importante para selecionar as métricas corretas e a carga de trabalho do sistema.
- *Selecionar as métricas de desempenho:* é necessário selecionar critérios para a medição de desempenho. Estes critérios são chamados de métricas. Em geral as métricas estão relacionadas à velocidade, confiabilidade e disponibilidade dos serviços.
- *Listar os parâmetros relacionados ao desempenho:* outro passo importante é realizar uma listagem de todos os parâmetros que afetam o desempenho do sistema. Esta lista pode ser dividida em parâmetros do sistema e parâmetros de carga de trabalho. Os parâmetros do sistema incluem parâmetros de *hardware* e *software* que geralmente não variam entre várias instalações do sistema. Os parâmetros de carga de trabalho são dependentes das requisições do usuário e podem variar de uma instalação para outra. Geralmente, à medida que o estudo se

desenvolve novos parâmetros são descobertos e adicionados à lista, que deve ser a mais abrangente possível. Isto permite que o analista discuta o impacto dos vários parâmetros e determine que tipos de dados são interessantes para serem coletados durante a análise.

- *Selecionar os principais fatores a serem estudados:* a lista de parâmetros pode ser dividida em duas partes: aqueles que serão variados durante a avaliação e aqueles que permanecerão fixos. Os parâmetros que serão variados são chamados de *fatores* e seus valores são chamados *níveis*. Os parâmetros que tem maior impacto no estudo de desempenho deveriam ser preferencialmente escolhidos como fatores. É importante que na escolha dos fatores sejam consideradas as limitações econômicas, políticas e tecnológicas que existem e as limitações de controle e tempo disponíveis para a conclusão do estudo. Isto aumenta as chances de que o estudo encontre uma solução aceitável e implementável.
- *Selecionar uma técnica de avaliação:* As três técnicas de avaliação de desempenho são a modelagem analítica, simulação e medição de um sistema real. A seleção da técnica certa depende do tempo e recursos disponíveis para resolver o problema e o nível desejado de confiabilidade. Uma discussão acerca da técnica a ser utilizada é encontrada no tópico 2.9.
- *Selecionar a carga de trabalho:* a carga de trabalho consiste em uma lista de serviços solicitados ao sistema e deve ser uma representação mais próxima possível da carga de trabalho real do sistema. Deve-se considerar também a possibilidade de repetição da carga de trabalho para futuras avaliações sobre o mesmo sistema. Para tanto é necessário medir e caracterizar a carga de trabalho dos sistemas existentes. Como exemplo de caracterização, pode-se forçar uma condição de carga do sistema em um limite pré-estabelecido e analisar o efeito de determinados parâmetros de sistema, para um serviço específico, nesta condição de carga.

- *Realizar um planejamento dos experimentos:* uma vez que exista uma lista de fatores e seus níveis é necessário decidir a seqüência de experimentos que oferecem a máxima quantidade de informação com o mínimo esforço. Na prática é interessante conduzir o experimento em duas etapas. Na primeira etapa o número de fatores pode ser grande mas o número de níveis deve ser pequeno. O objetivo é determinar o efeito relativo dos vários fatores. Na maioria dos casos isto é possível através do projeto experimental fatorial. Na segunda etapa o número de fatores é reduzido e o número dos níveis dos fatores de efeito relativo mais significativo sobre o sistema é aumentado.
- *Análise e interpretação dos resultados:* é importante reconhecer que os resultados das medições e simulações são variáveis e podem ser diferentes cada vez que o experimento é repetido. Comparando duas alternativas é necessário levar em conta a variabilidade dos resultados. A simples comparação dos significados pode levar a conclusões não confiáveis. Deve-se compreender que a análise somente produz resultados numéricos e não conclusões. Os resultados fornecem a base para que o analista possa concluir sobre o significado dos resultados e tomar uma conclusão.
- *Apresentação os resultados:* os resultados da avaliação de desempenho devem se apresentados de modo de seja facilmente entendido. Isto usualmente requer o uso de gráficos sem nenhum jargão estatístico. Os gráficos devem ter uma escala apropriada.

A seguir será apresentada a aplicação desta metodologia no sistema em pesquisa.

### 3.1 - Estabelecer objetivos e definir o sistema a ser avaliado

#### *Objetivos -*

- Obter o melhor balanceamento ou ajuste dos fatores de interesse do sistema;
- Entender como os fatores avaliados influenciam no desempenho do serviço voz do sistema.

#### *Sistema a ser avaliado -*

Faz-se necessário definir uma região do sistema a ser avaliada de tal forma que os resultados obtidos possam ser transferidos para toda a rede ou para a região da rede com baixo desempenho do serviço de voz.

O estudo se concentra na estrutura de acesso Frame Relay disponibilizada para o conectar os sites do cliente à rede de suporte. Nesta região do sistema o serviço de voz geralmente se defronta com as piores condições de congestionamento de tráfego. Esta condição pode afetar severamente os requisitos de QoS de voz (latência de transmissão, taxa de transmissão disponível e perda de pacotes).

A estrutura de acesso é constituída de um roteador multiprotocolo ou FRAD, do circuito de acesso e da porta Frame Relay do *switch* da rede de suporte.

Os mecanismos de notificação e controle de congestionamento e o policiamento de tráfego do Frame Relay atuam nesta região do sistema, barrando o excesso de tráfego que poderia congestionar a rede de suporte.

Alguns parâmetros de interesse, porém, só podem ser analisados com uma concepção fim a fim do sistema. É o caso do parâmetro *codec de voz*. Por isso o sistema compreenderá duas estruturas de acesso conectadas entre si por duas CVPs, uma para o tráfego de voz e outra para IP, como um raio da topologia discutida nos tópicos 2.6 e 2.7.

O sistema será construído com CVPs independentes, uma vez que o uso desta topologia lógica é um fator fundamental para o projeto otimizado da rede para o serviço de voz (vide tópico 2.8).

### 3.2 - Listar os serviços e resultados providos pelo sistema

#### *Serviços –*

O sistema oferece os seguintes serviços:

- Conversação entre usuários dos dois sites do sistema, através de uma CVP Frame Relay destinada somente para o transporte de PDUs de voz e interfaces de voz apropriadas;
- Transferência de PDUs encapsulando IP, entre os dois sites do sistema, através de uma CVP Frame Relay destinada somente para o transporte destas PDUs.

Observação: a avaliação de desempenho se concentra na fase de conversação do serviço de voz, desconsiderando a fase de estabelecimento e desconexão do serviço.

#### *Resultados -*

O sistema avaliado deve prover como resultado a transferência simultânea de pacotes IP e voz mantendo o nível de conversação de voz sem degradação mesmo na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso do sistema (ponto B do gráfico da figura 15). Considerando o sistema nesta condição de carga, pretende-se obter o melhor ajuste dos fatores para o desempenho do serviço de voz, para qualquer nível de tráfego do sistema.

### 3.3 - Selecionar as medidas de desempenho (métricas)

A métrica escolhida é a qualidade de voz percebida pelo usuário final do serviço de voz, expressa em MOS. Dois problemas surgem com o uso desta métrica:

- A percepção da qualidade de voz é subjetiva, condicionada às variações de percepção entre usuários. Deve-se prover um tratamento adequado ao projeto experimental para que o efeito de subjetividade seja minimizado;
- Esta métrica condiciona o uso da técnica de medição.

Vantagens do uso desta métrica:

- Simplifica a avaliação, uma vez que todas as outras métricas relacionadas ao desempenho do serviço de voz estão nela embutidas;
- É a expressão real da satisfação do usuário com o serviço.

### 3.4 - Listar os principais parâmetros relacionados ao desempenho

Em termos gerais, os parâmetros de sistema que afetam o desempenho do serviço de voz na fase de conversação estão descritos a seguir:

- A taxa de transmissão da interface Frame Relay no dispositivo terminal e na porta da rede de suporte;
- Taxa de transmissão do circuito de acesso;
- Taxa de transmissão garantida (CIR) para a CVP de voz;
- Taxa de transmissão garantida (CIR) para a CVP de dados ;
- Taxa de transmissão excedente (EIR) para a CVP de dados;
- *Codec* de voz empregado;

- Sistema operacional dos roteadores (fabricante e versão);
- *Hardware* dos roteadores (modelo e fabricante);
- Aplicação correta da fragmentação;
- Priorização do tráfego de voz;
- Capacidade de processamento da CPU dos roteadores;
- Comprimento da PDU Frame Relay de dados;
- Comprimento da PDU Frame Relay de voz;
- Nível de amplificação das interfaces de voz dos dispositivos terminais Frame Relay;
- Equalização de impedância da interface de voz;
- Nível de cancelamento de eco da interface de voz;
- Aplicação do mecanismo VAD na interface de voz .

Os parâmetros de carga do sistema que afetam o desempenho do serviço avaliado são:

- Atraso de transmissão de PDUs de voz ;
- Variação do atraso de transmissão (*Jitter*) de PDUs de voz;
- Taxa de utilização do circuito de acesso pelo tráfego simultâneo de dados e voz ;
- Quantidade de PDUs de voz descartadas;
- Nível de potência de transmissão do sinal de voz;
- Nível de potência de recepção do sinal de voz;
- Relação sinal / ruído;
- Taxa de erro do circuito de acesso BER (*Bit Error Rate*);

### 3.5 - Selecionar os principais fatores a serem estudados

A seleção dos fatores neste estudo está relacionada à possibilidade de variar certos parâmetros do mais facilmente do que outros, visando um ajuste do sistema. Não devem existir impedimentos de reengenharia do sistema ou de custo para o cliente quando estes parâmetros forem ajustados.

Por exemplo, pode-se aumentar a taxa de transmissão do circuito de acesso para melhorar a qualidade do serviço. No entanto isto acarreta aumento no custo do projeto.

Alguns parâmetros são condição padrão para o serviço de voz ou seus efeitos sobre a métrica de desempenho não são relevantes para o ajuste pretendido no sistema. Esses parâmetros não serão objeto de estudo. Exemplo: parâmetros de estabelecimento e desconexão do serviço de voz.

Os fatores escolhidos para este estudo são:

- *Codec de voz*: pretende-se determinar qual é o melhor *codec* para o sistema, na condição de congestionamento severo do circuito de acesso. Serão avaliados os *codecs* padrão ITU-T G.729.A e G.723.1. O interesse por estes *codecs* é devido ao fato deles produzirem níveis de qualidade de voz em MOS próximos aos *codecs* classe 1 com menos alocação de taxa de transmissão, e portanto, menos custo com CVPs e circuitos de acesso;
- *Comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP*: pretende-se determinar qual é a melhor configuração de fragmentação das PDUs de tráfego IP no sistema, na condição de congestionamento severo do circuito de acesso. Considera-se uma taxa de transmissão de circuito de acesso fixa e de baixa velocidade (64 Kbps).

### 3.6 - Selecionar a técnica para avaliação de desempenho

A seleção da técnica de avaliação de desempenho está condicionada ao controle efetivo dos parâmetros do sistema, ao tipo de métrica desejada , à disponibilidade de tempo e ferramentas de avaliação e construção do sistema. Este estudo utilizará a técnica de medição de um sistema real, conforme discutido no tópico 2.9, para retirar os resultados do projeto experimental que será discutido adiante. O uso da medição está condicionado à métrica selecionada, de acordo com o tópico 3.3.

### 3.7 - Compreender, caracterizar e selecionar a carga de trabalho

O sistema avaliado deve ser simplificado para diminuir a dificuldade do experimento e se concentrar nos fatores de interesse sem, contudo, afetar a confiabilidade dos resultados.

O tráfego de voz será gerado através de um telefone, conectado via interface FXS em um dos FRADs terminais do sistema. No outro FRAD terminal também será conectado um telefone via interface FXS. Ambos os telefones estarão em salas separadas e silenciosas, no ambiente de laboratório.

Antes de avaliar o sistema com a carga de trabalho selecionada, será realizado um ajuste prévio do serviço de voz para minimizar ao máximo o ruído de fundo e o eco em função das características dos aparelhos telefônicos .

Na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso serão realizadas ligações de voz entre os FRADs do sistema.

Duas pessoas, uma em cada aparelho telefônico, avaliarão a qualidade de voz em escala MOS para cada combinação de fatores e replicações do projeto experimental. A ligação de voz será roteada na rede mediante uma configuração apropriada nos roteadores terminais (anexo B). Cada ligação terá uma duração média de 40 segundos. Durante a ligação, um interlocutor soletra o alfabeto ou uma seqüência de números, de forma contínua, rápida e cadenciada, enquanto o outro interlocutor verifica a compreensão das letras ou números e realiza a avaliação em MOS.

O tráfego de dados será gerado a partir das aplicações de diagnóstico, presentes nos sistemas operacionais dos PCs conectados nas interfaces de rede local Ethernet dos roteadores terminais. Será utilizado o *Ping Estendido* que permite a geração de pacotes IP endereçados à rede ponto a ponto correspondente a subinterface lógica da conexão virtual Frame Relay para o tráfego IP (vide tópico 2.6). Pode-se variar o comprimento dos pacotes para até 1500 bytes (MTU do IP para Ethernet) e o tempo entre os pacotes gerados e iniciar várias seções de *ping* simultâneas para o mesmo endereço de destino do tráfego IP, forçando à condição de congestionamento severo do circuito de acesso. O sistema será composto de circuitos de acesso 64Kbps (velocidade de circuito comercial considerada mínima para projetos Frame Relay) permitindo fácil criação da condição de congestionamento severo. O anexo A apresenta o método de geração do tráfego IP em detalhes.

A caracterização da carga de trabalho para esta avaliação de desempenho está baseada no conceito de pior caso ou de carga limite. Se os determinados fatores de análise forem corretamente ajustados nesta situação, o desempenho do sistema, dependente destes fatores, será sempre o desejado para qualquer nível de carga inferior a este limite.

Outra motivação importante para a caracterização e seleção desta carga de trabalho é a possibilidade de repetição em novas avaliações, uma vez que o nível de tráfego é bem definido.

Os FRADs permitem a coleta de várias estatísticas, como a taxa de utilização da porta Frame Relay (e portanto, do acesso), taxa de utilização das CVPs, taxa de erro do circuito de acesso, quantidade de notificações de congestionamento, etc. Os fatores de estudo também serão configurados nos FRADs.

### 3.8 - Realizar um planejamento dos experimentos

Será utilizado inicialmente o projeto experimental  $4^2$  fatorial para determinar o melhor ajuste de 2 fatores sobre a métrica escolhida, em função da carga aplicada ao sistema, sendo que cada fator possui 4 alternativas ou níveis. Os fatores escolhidos são o *codec* de voz e o comprimento do fragmento das PDUs de dados Frame Relay.

Dois *codecs* de baixa velocidade da ITU-T serão avaliados. Cada *codec* terá duas variações: G.729.A (2 *frames*), G.729.A (5 *frames*), G.723.1 6.3 Kbps e G.723.1 5.3 Kbps.

O *codec* G.729 não será avaliado, uma vez que o *codec* G.729.A apresenta um desempenho similar, com a vantagem de exigir metade da capacidade de processamento do G.729. Na prática, os fabricantes de equipamentos Frame Relay optam pelo G.729.A porque ele necessita de um processador DSP (*Digital Signal Processor*) por canal de voz, enquanto que o G.729 requer dois DSPs por canal.

O *codec* G.729.A permite o ajuste do número de *frames* de voz por pacote. O uso das variações com dois ou cinco *frames* permite que seja analisada a influência desta característica no desempenho do G.729.A e do sistema.

O *codec* G.723.1 foi concebido com duas possibilidades de taxa de transmissão (5.3 e 6.3 Kbps) e respectivos comprimentos de *frame* (20 e 24 bytes). Será verificada a influência destes fatores no desempenho do G.723.1 e do sistema.

Para o fator *comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP* serão utilizados fragmentos de 32, 64 bytes, 128 e 256 bytes.

O projeto experimental produzirá  $4^2 = 16$  experimentos de acordo com a tabela 8. Três replicações serão realizadas para cada experimento, a fim de garantir a confiabilidade e reduzir o efeito de subjetividade da escala MOS nos resultados, discutido nos tópicos 2.2 e 3.3.

Um fato importante a ser considerado no experimento é que mudando o fator *codec* de voz a CIR da CVP de voz deve obedecer à taxa de transmissão exigida pelo *codec*, conforme discutido no tópico 2.7.1. Para eliminar este efeito será fixado um valor de CIR igual ao maior valor de CIR exigido entre os *codecs* de voz avaliados. Será fixado, portanto, uma CIR de 10,8 Kbps para a CVP de voz (vide tabela 4).

		Fatores		Resultados ( MOS)			
		Tipo de codec	Tamanho do fragmento (bytes)	Replicação 1	Replicação 2	Replicação 3	Média
Níveis	G.729.A (5)	32					
	G.729.A (5)	64					
	G.729.A (5)	128					
	G.729.A (5)	256					
	G.729.A (2)	32					
	G.729.A (2)	64					
	G.729.A (2)	128					
	G.729.A (2)	256					
	G.723.1 6.3	32					
	G.723.1 6.3	64					
	G.723.1 6.3	128					
	G.723.1 6.3	256					
	G.723.1 5.3	32					
	G.723.1 5.3	64					
	G.723.1 5.3	128					
	G.723.1 5.3	256					

Tabela 8 - Cenário do projeto experimental

Para a CIR da CVP de tráfego IP será fixado um valor de 32Kbps, que corresponde à metade da taxa de transmissão dos circuitos de acesso do sistema (implementação usual, vide tópico 2.7.1) e EIR = 32 Kbps (desta forma o tráfego IP pode ocupar toda a banda disponível dos circuitos de acesso na condição de congestionamento severo).

### 3.9 - Análise de Dados

O resultado final do projeto experimental será interpretado em função das características dos *codecs* avaliados, objetivando entender como elas influenciam na métrica de qualidade de voz e como interagem com o tamanho do fragmento. O objetivo da avaliação é obter a combinação dos fatores que produzirão o melhor resultado no sistema. Para este tipo de análise será utilizado o método de observação, verificando diretamente o melhor resultado médio e a combinação de níveis correspondentes na tabela 8.

A tabela 9 consolida todas as informações de interesse sobre os *codecs* avaliados e será a referência para posterior interpretação dos resultados da tabela 8.

Características dos codecs	Codecs ITU-T Classe 2 [FRF.11]			
	G.729.A	G.729	G.723.1 6.3K	G.723.1 5.3K
Tamanho do frame (ms) [4]	10	10	30	30
Atraso de processamento (ms) [4]	10	10	30	30
Atraso de correlação (look-ahead) em ms [4]	5	5	7,5	7,5
Comprimento do frame (bytes) [4]	10	10	24	20
Taxa de transmissão (Kbps) [4]	8	8	6,3	5,3
Taxa de transmissão de pacotes (pps)	50	50	17	17
Carga de trabalho do DSP (MIPS) [4]	10,5	20	16	16
Latência unidirecional em ms para Frame Relay [20]	45	45	97,5	97,5
Qualidade ( MOS) [8]	3,65	3,9	3,8	3,8

Tabela 9 - Informações consolidadas sobre os *codecs* de voz avaliados.

### 3.10 - Apresentação dos Dados

Os resultados da tabela 8 serão transferidos para um gráfico de barras semelhante ao gráfico da figura 6. A qualidade de voz em escala MOS será lançada no eixo vertical. Para cada combinação dos fatores do experimento, lançados no eixo horizontal, haverá um resultado médio em MOS. Todos os resultados serão comparados ao nível desejado de qualidade de serviço de voz do sistema (MOS = 4). A combinação de fatores que obter o melhor desempenho, mais próximo da referência, será o melhor ajuste dos parâmetros do sistema.

## Capítulo 4 - Aplicação da metodologia e análise de resultados

Para que o projeto experimental possa ser aplicado corretamente no sistema a ser avaliado é necessário que o analista tenha um bom conhecimento do sistema e possa ter o máximo de controle possível sobre os parâmetros relacionados à métrica de desempenho. Se possível é necessário que o sistema seja simplificado, concentrando-se nos fatores de interesse da análise sem, contudo, afetar a confiabilidade dos resultados para o sistema como um todo.

A necessidade de simplificação do sistema é particularmente importante na medição de um sistema real. Nesta técnica alguns parâmetros de sistema podem ser de difícil controle. Os efeitos desses parâmetros devem ser suprimidos ou minimizados, desde que isto não produza alterações significativas nos resultados, invalidando a avaliação.

A aplicação de uma metodologia de avaliação de desempenho em um sistema real deve levar em conta a possibilidade de repetição da avaliação. No entanto para cada repetição imprevistos podem ocorrer. O sistema deve ser construído de forma a minimizar a ocorrência destes imprevistos.

### 4.1 - Descrição do sistema

O sistema apresenta o diagrama de módulos da figura 19. Ele não é a representação real de todas as instâncias de *software* e blocos de *hardware* dos equipamentos envolvidos, mas serve como representação didática do sistema. A nomenclatura dos módulos também foi alterada para se adequar ao texto.

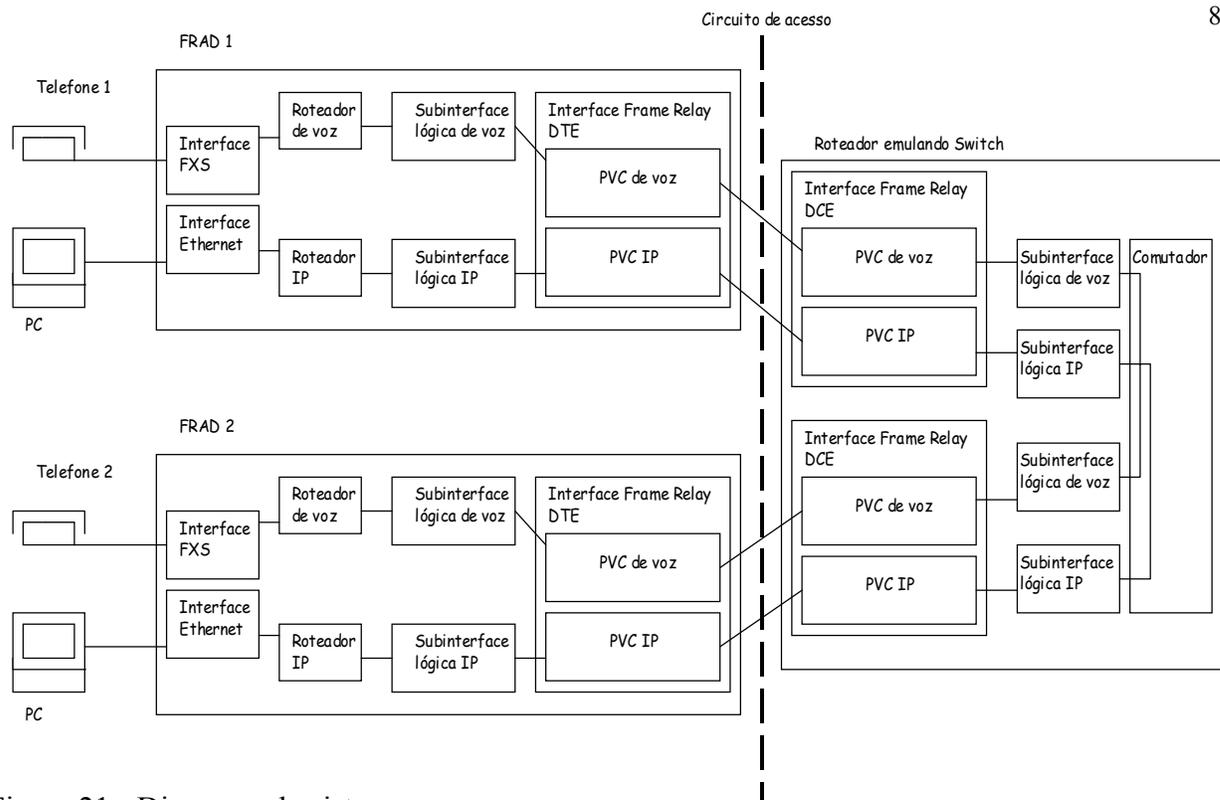


Figura 21 - Diagrama do sistema.

Cada bloco do sistema possui um conjunto de parâmetros configuráveis. A descrição da funcionalidade dos blocos é detalhada a seguir:

- **Interface FXS:** este bloco realiza as funções de tratamento do sinal analógico de voz e dígitos DTMF (*Dual Tone Multifrequency*), transmitidos pelo telefone. Os *codecs* e os parâmetros discutidos no tópico 2.10 se aplicam a ela. O sinal analógico é dividido em amostras de tempo que são codificadas e comprimidas em *frames*. Este bloco também realiza o processo inverso, ou seja, recupera o sinal analógico de voz proveniente das amostras codificadas de *frames* sequenciais para recepção do telefone. Outra função importante deste bloco é emular uma central telefônica pública, interpretando o *loop* de corrente do telefone quando o monofone é tirado do gancho e os dígitos discados. Ele gera também os sinais de supervisão de ligação e recebimento de chamada para o telefone.
- **Roteador de voz:** realiza o reconhecimento dos dígitos DTMF codificados e encaminha todos os *frames* subsequentes de voz para a subinterface lógica correspondente, mediante uma tabela de roteamento que associa a seqüência de

dígitos ao endereço lógico da subinterface de voz. Este bloco também realiza a função inversa, ou seja, reconhece os *frames* de dígitos e voz recebidos da subinterface analógica e encaminha para o endereço lógico da interface FXS, mediante a tabela de roteamento.

- *Subinterface lógica de voz*: encapsula os *frames* de voz para o protocolo de voz implementado no FRAD. Encaminha as SDUs destes protocolos para a respectiva CVP Frame Relay de voz, mediante uma tabela que associa o endereço lógico da subinterface ao DLCI da CVP de destino. Ele também realiza a função inversa, extraindo e encaminhando os *frames* encapsulados nos protocolos de voz para o bloco roteador.
- *Interface Frame Relay DTE (Data Terminal Equipment)* : encapsula e serializa as SDUs do protocolo de voz e IP em PDUs Frame Relay. As PDUs são endereçadas pelo campo DLCI aos seus respectivos PVCs de destino. Realiza-se também o processo inverso, extraindo as SDUs de voz e IP dos PDUs Frame Relay e encaminhando-as para suas respectivas subinterfaces lógicas. Este bloco é responsável pelo enlace Frame Relay e também realiza a fragmentação e elegibilidade para descarte das PDUs. Nele são definidos os parâmetros de interconexão física e sincronização com o circuito de acesso, de acordo com a recomendação V.35 do ITU-T.
- *Interface Frame Relay DCE (Data Connection Equipment)*: realiza as mesmas funções da interface DTE com o adicional de realizar as funções de policiamento de tráfego do circuito de acesso (parâmetros CIR, EIR, Bc e Tc), notificação de congestionamento (FECN, BECN) e descarte de pacotes por congestionamento. No caso da aplicação da fragmentação fim a fim este bloco não realiza a função de fragmentação. Ela ocorre somente nas interfaces Frame Relay DTE.

- *Comutador*: um *switch* Frame Relay da rede de suporte é responsável por identificar o DLCI de destino de uma PDU e encaminhá-la para uma CVP de outra interface Frame Relay, que pode possuir o mesmo DLCI ou não. Uma tabela associa cada DLCI a um DNA (*Data Network Address*) local e remoto. O DNA remoto está associado ao DLCI da CVP de destino na matriz de comutação. No sistema em estudo um roteador estará emulando a função de *switch* Frame Relay. Neste caso as subinterfaces lógicas farão um papel de menor importância, somente encaminhar as SDUs de voz e dados para o comutador, que irá repassá-las para as subinterfaces lógicas de voz e dados de destino. Estas subinterfaces lógicas, por sua vez, irão somente transferir as SDUs recebidas para a interface Frame Relay DCE associada, que irá encapsulá-las nos PDUs Frame Relay dos respectivos CVPs de voz e dados para o FRAD de destino.
- *Roteador IP*: encaminha os pacotes IP provenientes da rede local para a subinterface lógica correspondente, mediante uma tabela de roteamento que associa o endereço de destino do pacote IP ao endereço lógico da subinterface (roteamento IP estático). O endereço lógico da subinterface deve ser um endereço de rede IP, para que pacotes IP provenientes de outras redes locais possam ser endereçados a esta subinterface quando a meta for alcançar um endereço de *host* IP da rede local (o tópico 2.6 comenta o uso de subinterfaces lógicas para resolver o problema do horizonte dividido).
- *Interface Ethernet*: responsável pela conversão dos endereços MAC dos equipamentos da rede local em endereços IPs (*ARP*) e o processo inverso (*Reverse ARP*). Neste bloco se aplicam também os parâmetros de interface física Ethernet.
- *PCs*: serão responsáveis pela geração e destino do tráfego IP, mediante o *ping estendido*, discutido no tópico 3.7.
- *Telefones*: serão responsáveis pela geração e destino do tráfego de voz, discutido no tópico 3.7.

- *Circuitos de acesso*: para evitar a presença de mais parâmetros relacionados ao circuito de acesso, a conexão será realizada por cabos de 25 vias pino-a-pino, interligando as interfaces Frame Relay DTE e DCE de ambos os circuitos de acesso entre o FRADs e o *switch* Frame Relay.

## 4.2 - Resultados da medição do sistema

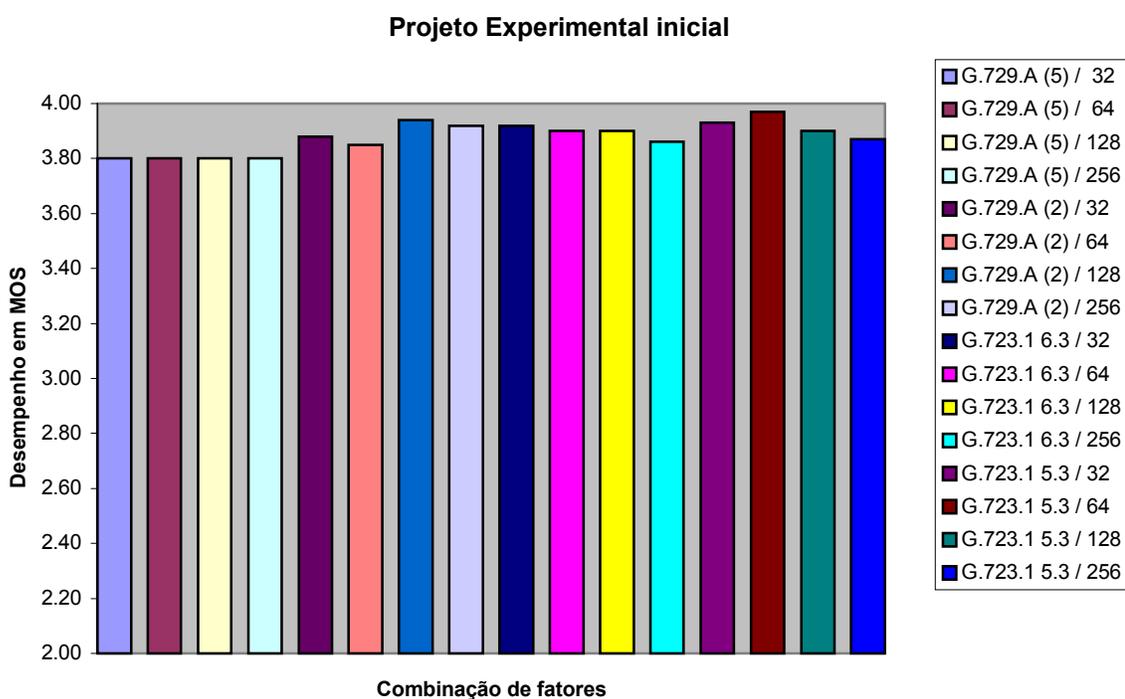


Figura 22 - Gráfico dos resultados do projeto experimental inicial.

O gráfico da figura 20 demonstra que todas as combinações dos fatores produziram resultados próximos a  $MOS = 4$ , na condição de congestionamento do circuito de acesso.

Os resultados do experimento mostram uma ligeira vantagem da combinação *codec* G.723.1 *versus* comprimento de fragmento de 64 Kbps. Porém, estes resultados não são conclusivos, uma vez que a escala MOS é subjetiva.

Um profissional da área de telecomunicações, ciente dos padrões de qualidade de voz em sistemas de telefonia, poderia pontuar com relativa precisão os resultados em MOS. Uma pessoa não treinada poderia pontuar o mesmo desempenho para todas as combinações de fatores.

De fato o que se observa é que praticamente não houve uma variação de desempenho significativa, em todos os experimentos.

Embora haja realmente uma limitação no projeto experimental inicial, devido ao uso da escala MOS, os resultados são coerentes com o comportamento do sistema. A seguir serão expostos os motivos pelos quais o projeto experimental inicial apresentou estes resultados:

- *Fragmentação*: a fragmentação das PDUs do tráfego IP, em todos os experimentos, permitiu que os valores de latência unidirecional de transmissão da rede permanecessem dentro de limites aceitáveis para o serviço de voz, mesmo na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso. Todos os comprimentos de fragmento avaliados garantiram que os atrasos de serialização dos circuitos de acesso 64Kbps não ofendessem estes limites aceitáveis de atraso (em torno de 150ms, de acordo com a G.114). Pode-se afirmar que, quanto menor o fragmento das PDUs de tráfego IP, menor é o atraso de serialização para as PDUs de voz e , portanto, 32 bytes seria a melhor opção de ajuste do fator comprimento do fragmento de dados, em relação ao desempenho do serviço de voz. Esta opção, no entanto, é a pior em termos de tempo de resposta para as aplicações IP. O projeto experimental inicial comprovou que é possível utilizar fragmentos de até 256 Kbps para as PDUs de tráfego IP, sem comprometimento do serviço de voz do sistema.
- *Construção de CVPs separadas para o tráfego IP e voz*: os mecanismos de policiamento de tráfego do Frame Relay impediram que o tráfego IP excedente invadisse a taxa de vazão comprometida (CIR) para a CVP de voz. A taxa de vazão de PDUs requerida pelo serviço de voz se manteve estável em todos os experimentos, mesmo na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso.

- *Priorização das PDUs de voz*: este mecanismo permitiu que as PDUs do tráfego IP fossem descartadas preferencialmente, na tentativa de redução da extensão do congestionamento pelo Frame Relay. Desta forma foi mantida a integridade do fluxo de tráfego de voz em todos os experimentos.

Conclui-se que os mecanismos de QoS do Frame Relay permitiram a manutenção dos requisitos de rede para o serviço de voz de tal forma que o desempenho inerente aos *codecs* avaliados não fosse prejudicado.

Pela tabela 7 se observa que o desempenho do *codec* G.723.1, avaliado pelo ITU-T, é superior ao G.729.A, e que as duas variantes do G.723.1 (6.3 e 5.3 Kbps) possuem o mesmo desempenho em MOS.

Pode-se afirmar, portanto, que ambas as variantes do *codec* G.723.1 seriam a melhor opção de ajuste para o fator *codec*, em relação ao desempenho do serviço de voz do sistema.

Embora a taxa de transmissão requerida e o comprimento do *frame* sejam diferentes nas variantes do *codec* G.723.1 analisadas, a taxa de transmissão de pacotes e a latência unidirecional são as mesmas, de acordo com a tabela 7. Do ponto de vista do *codec*, o que ele precisa da rede para manter o nível de desempenho do serviço de voz é a manutenção constante da taxa de transmissão de pacotes e de valores toleráveis de latência da rede e perda de pacotes. O projeto experimental inicial comprovou a eficiência do Frame Relay nesta tarefa, portanto, há um reforço na conclusão de que ambas as variantes do G.723.1 possuem o mesmo desempenho no sistema.

O *codec* G.723.1 5.3Kbps exige a menor taxa de transmissão por canal de voz. Isto implica em redução da CIR para a CVP de voz e pode ser uma característica importante quando o objetivo for disponibilizar mais taxa de transmissão para outras aplicações que compartilham o mesmo circuito de acesso.

Outro parâmetro, analisado no projeto experimental inicial, é a influência do número de *frames* de voz por pacote do *codec* G.729.A no desempenho do serviço de voz do sistema e do próprio *codec*. Comprovou-se que este fator não exerceu influência significativa no desempenho. Isto porque os mecanismos de QoS do Frame Relay garantiram todos os requisitos de rede para o G.729.A, mesmo na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso. Aumentando o número de *frames* de voz por pacote, aumenta-se a latência unidirecional do *codec*. Pode-se

afirmar que, em situações de atrasos de transmissão elevados, o desempenho do G.729.A pode ser melhorado aumentando o número de *frames* de voz por pacote.

Com o intuito de acrescentar mais valor a avaliação de desempenho proposta e eliminar o relativo “empate técnico” dos resultados do projeto experimental inicial, foram conduzidos mais dois experimentos. O objetivo é determinar qual seria o melhor *codec* (G.729.A ou G.723.1), em relação ao desempenho do serviço de voz, na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso, se um dos requisitos de QoS de voz fossem quebrados (atrasos, banda disponível e perdas).

Optou-se por quebrar o requisito de latência unidirecional da rede, desabilitando o mecanismo de fragmentação de PDUs de tráfego IP. Neste caso o fator *comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP* foi eliminado e somente o fator *codec de voz* foi avaliado. Todos os demais parâmetros relacionados ao desempenho de voz do sistema se mantiveram fixos..

O resultado deste segundo experimento demonstrou que o *codec* G.723.1 não sofreu redução do desempenho sem o mecanismo de fragmentação, na condição de congestionamento severo do sistema, enquanto que o *codec* G.729.A apresentou redução significativa, com MOS em torno de 2,5.

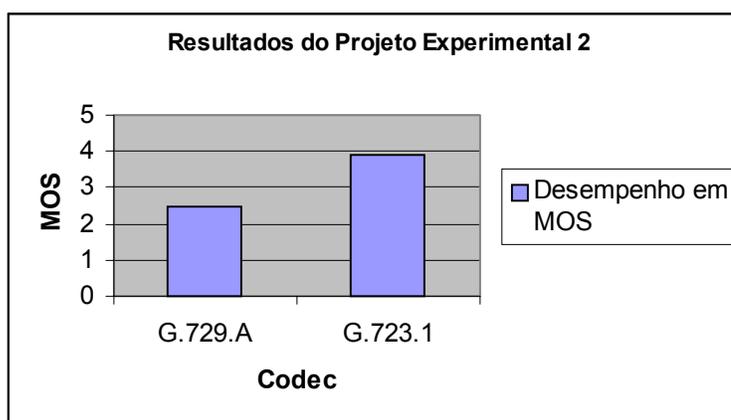


Figura 23 - Desempenho dos *codecs* desabilitando o mecanismo de fragmentação do sistema.

Este resultado é compatível com a afirmação em [4], que sugere o uso do *codec* G.723.1 para aplicações em que o tráfego de voz precisa compartilhar toda e qualquer banda disponível com o tráfego de dados.

A explicação para este resultado reside na característica de latência unidirecional e nos mecanismos de disfarce de perdas (interpolação) do G.723.1.

Pela tabela 7 se percebe que a latência do G.723.1 é praticamente o dobro da latência do G.729.A, ou seja, para processar uma amostra de voz, desde a codificação até a decodificação, o G.723.1 leva o dobro de tempo que o G.729.A levaria para executar esta mesma tarefa.

É possível afirmar, então, que o G.723.1 permite que o intervalo de tempo entre dois pacotes de voz serializados seja o dobro do intervalo de tempo permitido pelo G.729.A, sem afetar a seqüência de geração de voz na decodificação.

Realizando um comparativo, se o serviço de voz com o *codec* G.729.A apresenta um desempenho máximo dentro dos limites de latência de transmissão da rede da G.114 (150 ms), o mesmo serviço com o *codec* G.723.1 apresentaria desempenho igual ou superior com valores de latência na ordem de até 300 ms.

Esta característica do G.723.1 não é interessante para circuitos de acesso de alta taxa de transmissão, uma vez que o atraso de serialização é muito baixo e a própria latência do G.723.1 acabaria se tornando um ofensor da latência unidirecional de transmissão da rede. Neste caso o G.729.A poderia ter melhor aplicação, em vista de sua baixa latência. Esta afirmação concorda com [4] que alega que usuários diretamente conectados em circuitos E1 (2Mbps), por exemplo, poderiam preferir o G.729.A pelas suas características favoráveis de atraso.

Conforme [4], estudos de laboratório comprovaram que perdas aleatórias de até 10% de pacotes de voz não surtem redução significativa de desempenho do G.723.1.

Na situação de congestionamento severo dos circuitos de acesso do sistema, mesmo com o mecanismo de priorização de voz habilitado, houve descarte de PDUs de voz pelo mecanismo de controle de congestionamento do Frame Relay. Esta perda, no entanto, foi minimizada pelo mecanismo de interpolação do G.723.1. De acordo com [4] o G.723.1 interpola um *frame* perdido com as características de sinal de voz do *frame* anterior e levemente enfraquece o sinal

## Capítulo 5 - Conclusão

### 5.1 - Apresentação

Um projeto de rede corporativa Frame Relay que ofereça serviços de transporte compartilhado de voz em tempo real e dados, requer do projetista o ajuste de parâmetros da rede para o melhor desempenho dos serviços.

O projetista deve conhecer a arquitetura da rede e o seu comportamento em condições críticas de tráfego, os problemas referentes ao transporte de voz em tempo real em uma rede de comutação de pacotes e os mecanismos de QoS de que pode se beneficiar .

O processo de ajuste pode ocorrer tanto na implementação inicial como durante o uso normal da rede, em virtude de um aumento considerável do volume de tráfego. O aumento do volume de tráfego geralmente está associado à instalação de uma nova aplicação de rede do usuário ou mudança de perfil de uso das aplicações de rede. Este processo geralmente é trabalhoso, uma vez que a percepção da qualidade de serviço de voz varia de organização para organização e de usuário para usuário.

O ajuste da rede para o serviço de voz pode recair em novo planejamento de capacidade, implicando em aumento no custo das facilidades de rede para o cliente. No entanto, antes que isto aconteça, é possível que certos parâmetros possam ser ajustados, a fim de melhorar o desempenho do serviço de voz para o perfil atual de tráfego da rede.

O objetivo deste trabalho foi aplicar uma metodologia de análise de desempenho para este processo de ajuste. Além disso, o trabalho permitiu determinar como os parâmetros analisados influenciam no desempenho do serviço de voz em redes Frame Relay e como os mecanismos de QoS do Frame Relay atuam no sentido de produzir as condições de rede necessárias ao serviço de voz.

## 5.2 - Avaliação do modelo

Neste trabalho, foi concebido um modelo real de rede corporativa Frame Relay com suporte aos serviços de transporte compartilhado de voz e pacotes IP para aplicação da metodologia de avaliação de desempenho, a fim de determinar o melhor ajuste dos parâmetros *codec de voz e comprimento de fragmento das PDUs de tráfego IP* que compartilham as facilidades de rede.

Dois projetos experimentais foram realizados, um para determinar o melhor ajuste destes fatores e determinar a influência das características do *codec* no desempenho do serviço de voz e outro para determinar qual *codec* de baixa velocidade do ITU-T avaliado apresentava o melhor desempenho em uma situação de níveis elevados de latência de transmissão da rede.

No primeiro projeto experimental foram aplicados todos os mecanismos de QoS disponíveis do sistema e no segundo foi desabilitado o mecanismo de fragmentação para criar condições desfavoráveis de latência da rede.

Para todos os projetos experimentais foi estabelecida uma carga de tráfego limite para o sistema, na condição de congestionamento severo dos circuitos de acesso, a fim de avaliar a eficiência dos mecanismos de QoS do Frame Relay no desempenho do serviço de voz.

## 5.3 - Resultados

O primeiro projeto experimental confirmou a eficiência dos mecanismos de QoS do Frame Relay para a criação das condições de rede necessárias ao bom desempenho do serviço de voz. Em todas as combinações dos fatores analisados o desempenho do sistema não se alterou significativamente.

Constatou-se que, se os mecanismos de QoS do Frame Relay fossem corretamente aplicados, o desempenho dos *codecs* avaliados não seria prejudicado, mesmo em situações críticas de congestionamento da rede pelas quais o sistema foi submetido. Esta constatação, por si só, já permitiu que fosse determinado o melhor *codec* para o sistema, pela comparação do desempenho inerente ao *codec* da tabela 7.

Além disso, o projeto experimental inicial comprovou que é possível a variação do comprimento dos fragmentos para as PDUs de tráfego IP para até 256 bytes, sem redução do desempenho do serviço de voz. Este ajuste é importante para minimizar o efeito da fragmentação no tempo de resposta para as aplicações IP que compartilham as facilidades de rede.

Através do estudo das características dos *codecs* foi possível comprovar que as duas variantes do *codec* G.723.1 (5.3 e 6.3 Kbps) produziram o mesmo desempenho do sistema, confirmando os resultados do projeto experimental inicial. Além disso foi constatado que o incremento do número de *frames* por pacote de voz, característica variável do *codec* G.729.A, não alterou o desempenho do serviço de voz e do próprio *codec*. Através do estudo das características dos *codecs*, consolidadas na tabela 7, foi possível afirmar que o incremento do número de *frames* de voz por pacote só surtiria efeito benéfico no desempenho do G.729.A na elevação dos níveis de latência de transmissão da rede, o que não ocorreu pela atuação eficiente dos mecanismos de QoS do Frame Relay.

Concluiu-se então que o melhor ajuste dos fatores do sistema avaliado, em relação ao desempenho das aplicações de IP e voz, seria o uso do *codec* G.723.1 5.3 Kbps, pela economia de taxa de transmissão para o tráfego IP, e comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP de 256 bytes.

No segundo projeto experimental foi comprovado que o *codec* G.723.1 apresenta desempenho superior ao G.729.A em condições de elevada latência de transmissão da rede. Seu desempenho não se alterou em relação ao projeto experimental inicial, enquanto que o desempenho do *codec* G.729.A foi reduzido consideravelmente. A explicação para o sucesso do G.723.1 foi encontrada nas próprias características do *codec* (latência unidirecional e mecanismo de interpolação).

A partir dos resultados do segundo projeto experimental e das características dos *codecs* avaliados foi possível constatar que o G.723.1 seria mais adequado em implementações de baixa taxa de transmissão dos circuitos de acesso, enquanto que o G.729.A seria mais adequado em implementações com circuitos de acesso de alta taxa de transmissão.

## 5.4 - Contribuições do Trabalho

A contribuição deste trabalho se concentra na aplicação da metodologia de Raj Jan [11] no problema estudado, algo que não foi encontrado na pesquisa bibliográfica.

A aplicação da metodologia apresentada pode ser utilizada em outros protocolos e arquiteturas de redes de longa distância para o tráfego compartilhado de voz e IP. Deve-se somente adequar os parâmetros do sistema em relação às particularidades do protocolo, *hardware* e *software* dos equipamentos que suportam esses serviços.

Além disso, o trabalho permitiu definir qual é o melhor *codec de voz* de baixa taxa de transmissão do ITU-T para aplicações de voz em tempo real submetidas a elevados níveis de latência de transmissão em uma rede Frame Relay. Esta situação é comumente enfrentada por projetistas e analistas de redes Frame Relay. O correto ajuste do fator *codec* de voz pode impedir, em uma primeira análise, a necessidade de um novo planejamento de capacidade das CVPs ou dos circuitos de acesso, acarretando aumento no custo das facilidades de rede. Determinou-se também o melhor ajuste do fator *comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP* para o sistema avaliado, de tal forma que o desempenho do serviço de voz não fosse prejudicado e os efeitos sobre o tempo de resposta das aplicações IP fosse minimizado.

## 5.5 - Limitações do trabalho

O uso da escala MOS para registros dos resultados das avaliações pode comprometer a confiabilidade dos dados, pela característica subjetiva da avaliação. Isto significa dizer que o próprio usuário do serviço se torna um fator de influência no desempenho do sistema.

Para reduzir o efeito de subjetividade, os projetos experimentais poderiam ser repetidos com vários avaliadores, acrescentando mais um fator *usuário* e respectivos níveis (usuário 1,2,3,..., N). Como o autor deste trabalho foi o avaliador do projeto experimental, os leitores teriam que confiar na sensibilidade do avaliador.

É possível o uso de equipamentos de medição de sistemas de telecomunicações para produzir os resultados dos experimentos, eliminando o fator *usuário* do sistema. O equipamento

DLA-5 da *Wandel e Goltermann* é utilizado, por exemplo, para gerar gráficos de desempenho de canais telefônicos. Estes gráficos são comparados a uma máscara padrão, que especifica as características ideais de um canal telefônico. Dois equipamentos destes poderiam ser conectados às interfaces analógicas do sistema para a avaliação de desempenho do serviço em cada experimento, após o estabelecimento da conexão de voz. Infelizmente estes equipamentos não estavam disponíveis para a avaliação, o que obrigou o uso da escala MOS.

O modelo real de sistema implementado para a avaliação limitou a variação possível dos níveis do fator *comprimento do fragmento das PDUs de tráfego IP*. No entanto, a partir das considerações do tópico 2.8 foi possível identificar um limite máximo para variação dos níveis deste fator, partindo da hipótese de que a latência de transmissão da rede, desconsiderando o atraso de serialização dos circuitos de acesso e a latência unidirecional dos *codecs*, seria da ordem de 80 ms. Desta forma o atraso de serialização seria  $150 \text{ ms} - 80 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$ , dividido por dois circuitos de acesso de 64 Kbps = 35 ms por circuito de acesso, a fim de respeitar a recomendação G.114 no que se refere à latência unidirecional de transmissão do sistema. Comparando com a tabela 5 foi possível determinar um limite máximo possível para este fator de 256 bytes. A partir do entendimento conceitual da fragmentação foi possível deduzir também que quanto menor o comprimento do fragmento, menor é o atraso de serialização para a aplicação de voz, e portanto, melhor seria o desempenho da aplicação. Concluiu-se então que os níveis admitidos pelo modelo real de sistema avaliado seriam adequados para a avaliação de desempenho pretendida, uma vez que o objetivo foi encontrar um ajuste balanceado deste fator, de forma a otimizar o desempenho tanto da aplicação de voz como das aplicações de tráfego IP encapsuladas em Frame Relay.

O modelo de sistema implementado para a avaliação não considera a taxa de erro dos circuitos de acesso e rajadas aleatórias de tráfego de uma rede real, embora os resultados da avaliação possam ser aplicados em projetos de redes Frame Relay corporativas de forma bem sucedida.

## 5.6 - Sugestões de novos trabalhos

Este trabalho abre as portas para um estudo efetivo de planejamento de capacidade para o tráfego IP em projetos de redes Frame Relay corporativas, que é sem dúvida um grande desafio.

Em função das limitações apresentadas no tópico 5.5, pode-se sugerir a repetição dos projetos experimentais em um modelo real de sistema semelhante ao apresentado neste trabalho, utilizando equipamentos de medição de canais de telefonia, para uma avaliação livre do fator usuário do sistema.

# Anexos

## Anexo A - Estatística e método de geração de tráfego do sistema

Em todos as 16 etapas do projeto experimental inicial e no segundo projeto experimental, a carga de tráfego do sistema nos circuitos de acesso Frame Relay foi medida através de estatística gerada pelos FRADs do sistema. A condição de congestionamento severo do circuito de acesso está assinalada em vermelho :

Node: p2-200 Address: 200 Date: 25-FEB-2003 Time: 11:43:02  
 Detailed FRI Port Statistics: Port 3 Page: 1 of 4

Port Speed: 64000 Operating Control Protocol: Annex-D  
 Port Status: Up SP-Backup: Not Configured Priority Station: 0

Data Summary: Last Statistics Reset: 24-FEB-2003 18:20:38

	IN	OUT		IN	OUT
Characters:	3547732	3618788	Characters/sec:	7305	7969
Frames:	30318	29021	Frames/sec:	6	7
Av Fr size:	117	124	Port Util.:	89%	99%

Frame-Relay / Physical Summary:

Overrun: 0 Underrun: 0 CRC: 0 Non-Octet Aligned: 1  
 Frame Length Err: 0 Unknown DLCI Err: 0 Last Unknown DLCI: 0

Interface Summary: V.35 DTE INPUT OUTPUT  
 DSR DCD RI CTS DTR RTS P14  
 State: Connected (SIMPLE) H H X H H H X

Para geração do tráfego correspondente no sistema, foram abertas 14 janelas DOS do Windows 95 no PC conectado à porta Ethernet do FRAD 2 . Em cada seção DOS foi executado o programa *ping estendido* (disponível no DOS), com o seguinte formato de comando:

*Ping 10.1.3.254 -l 1500 -w 0 -t*, onde:

- *10.1.3.254*: endereço de *loopback* do FRAD de destino do tráfego (FRAD 1);
- *-l 1500*: comprimento dos pacotes em bytes;
- *-w 0*: timeout máximo entre cada pacote, em ms;
- *-t* : aborta a geração somente por comando (CTRL + C).

A seguir será apresentada a parametrização do sistema avaliado, organizada de acordo com os blocos funcionais do tópico 4.1.

Os parâmetros significativos do sistema e seus respectivos comentários, precedidos pelo símbolo → , estão marcados em azul. Os fatores de estudo e seus respectivos comentários, precedidos pelo símbolo →, estão marcados em vermelho.

Os FRADs utilizados na medição foram os equipamentos da linha Vanguard 320. O equipamento que realizou a função de *switch* Frame Relay foi um Vanguard 6520. As imagens de *software* dos equipamentos foram geradas pelo *software Vanguide Software Builder* , versão 5.4, para suporte dos serviços do sistema.

## B1 - Parametrização dos FRADs 1 e 2

### FRAD 1 e 2 - interface Frame Relay DTE - porta 3

[3] \*Port Type: FRI

[3] Connection Type: SIMP

[3] Clock Source: EXT

[3] Clock Speed: 64000

[3] Invert TX Clock: NO

[3] Frame Sequence Counting: NORM

[3] Packet Sequence Counting: NORM

[3] Control Protocol Support: ANNEX\_D

[3] Control Protocol Options: NONE

[3] Discard Control Options: NONE

[3] High Priority Station: 0

[3] Maximum Voice Bandwidth bits per sec: 10800 → CIR de voz (fixado para G .729)

[3] Segment Size When Voice Is Present: 64 → fator comprimento do fragmento das PDUs para IP

[3] Segment Size When Voice Is Not Present: Disable

[3] T391/nT1 Poll Timer: 10

[3] T392/nT2 Verification Timer: 15

[3] N391/nN1 Full Status Polling Cycle: 6

[3] N392/nN2 Errors During Monitored Events: 3

[3] N393/nN3 Monitored Events: 4

[3] Starting SVC DLCI Number: 0

**FRAD 1 e 2 - subinterface lógica de voz - porta 3 - station 2**

[2] Station Type: ANNEX\_G

[2] \*Station Circuit Type: PVC

[2] DLCI: 70 → associação da subinterface lógica com o DLCI da CVP de voz

[2] Committed Information Rate (CIR): 10800 → CIR para a CVP de voz (fixado para 6.729)

[2] Committed Burst Size (BC): 10800 → Bc = CIR

[2] End-to-End Transit Delay: 50

[2] Congestion Control Mode: NORMAL

[2] Voice Congestion Control Mode: Disabled

[2] Link Address: DTE

[2] Number of PVC Channels: 0

[2] Starting PVC Channel Number: 1

[2] Number of SVC Channels: 16

[2] Starting SVC Channel Number: 1

[2] Number of Voice SVC Channels: 1

[2] Initial Frame: SABM

[2] T1 Transmission Retry Timer (1/10 sec): 80

[2] T4 Poll Timer: 90

[2] N2 Transmission Tries: 10

[2] K Frame Window: 7

[2] W Packet Window: 2

[2] P Packet Size: 128

[2] Data Queue Upper Threshold: 5

[2] Data Queue Lower Threshold: 0

[2] Restart Timer: 180

[2] Reset Timer: 180

[2] Call Timer: 200

[2] Clear Timer: 180

[2] Peak Utilization Monitoring Interval: 0

[2] X.25 Options: NONE

[2] Restricted Connection Destination: (blank)

- [2] CUG Membership: --,--,--,--,--,--,--
- [2] Billing Records: OFF
- [2] Frame Segmenter: Disabled
- [2] Annex G Rate Reduction on Link Error: Enabled

#### **FRAD 1 e 2 - subinterface lógica IP - porta 3 - station 1**

- [1] Station Type: BYPASS
- [1] \*Station Circuit Type: PVC
- [1] DLCI: 50 → associação da subinterface lógica com a CVP para tráfego IP
- [1] Committed Information Rate (CIR): 32000 → CIR da CVP IP (50% da velocidade do acesso)
- [1] Committed Burst Size (BC): 32000 → Bc = CIR
- [1] End-to-End Transit Delay: 50
- [1] Congestion Control Mode: NORMAL
- [1] Peak Utilization Monitoring Interval: 0
- [1] Frame Segmenter: Enabled → protocolo de fragmentação habilitado para as PDUs encapsulando IP
- [1] Max Inbound Queue: 2500

#### **FRAD 1 e 2 - Interface FXS - porta 2**

- [2] \*Port Type: VOICE
- [2] Interface Type: FXS
- [2] Signaling Mode: Normal
- [2] Compression Rate (KHz): 6.3kB → fator tipo de *codec*
- [2] VAD Control: Enabled → mecanismo VAD (tópico 2.8)
  
- [2] Smoothing Delay (msec): 300 → atraso unidirecional máximo entre pacotes de voz na fila igual a 2 vezes a meta do G.114 para garantir a execução do experimento na condição de congestionamento de tráfego do circuito de acesso
  
- [2] Echo Cancellor: Enabled → parâmetros de interface de voz (tópico 2.8)
- [2] Echo Return Loss (dB): -6 "
- [2] Input Signal Level (dB): 0 "

- [2] Output Signal Level (dB): 0 "
- [2] FAX Support: Disabled
- [2] FAX Rate (KHz): 9.6k
- [2] Call Control: Switched
- [2] Group Subaddress (Hunt Group): 55 → endereço lógico da porta FXS
- [2] No Answer Timeout (sec): 0
- [2] Variable Digits Timeout (sec): 0
- [2] Billing: OFF
- [2] Local Subscriber Address: (blank)
- [2] Enhance Debugging: NONE
- [2] Rx Signaling State Change Filter (msec): 10
- [2] Rx Disconnect Timer (msec): 1500
- [2] Rx Called End Disconnect Delay Timer (sec): 10
- [2] Rx Offhook/Onhook Filter (msec): 100
- [2] Rx Minimum Flash Hook Time (msec): 300
- [2] Rx Maximum Flash Hook Time (msec): 1000
- [2] Re-configure DTMF/Pulse Digits and Wink/Delay Timer Parameters?: No
- [2] Re-configure Call Progress Tone Parameters?: No
- [2] FXS Loop Supervision Voltage: 24V
- [2] Packet Delay Measurement Period (msec): 0

### **FRAD 1 - roteador de voz**

Route Selection Table → associa a chamada X.25 de voz (*call setup*) a subinterface lógica de voz

- [1] Address: \*
- [1] #1 Destination: fri-3s2
- [1] #1 Priority: 1

Voice Switching Table → associa o conjunto de dígitos DTMF "200" ao endereço X.25 "20055", onde "200" é o endereço do FRAD 1 e "55" é o endereço lógico da porta FXS

- [1] Received Digits String: 200

- [1] Number of Digits to be Received: 3
- [1] Call Parameters: 20055
- [1] Voice Switching Features: NONE
- [1] Voice Compression Override Rate: NONE
- [1] Number of Leading Digits to be Stripped: 3
- [1] Pre- Post-Fix Digits: (blank)
- [1] Destination IP Address: (blank)

### **FRAD 2 - roteador de voz**

Route Selection Table → associa a chamada X.25 de voz (*call setup*) a subinterface lógica de voz

- [1] Address: \*
- [1] #1 Destination: fri-3s2
- [1] #1 Priority: 1

Voice Switching Table → associa o conjunto de dígitos DTMF "100" ao endereço X.25 "10055", onde "100" é o endereço do FRAD 1 e "55" é o endereço lógico da porta FXS

- [1] Received Digits String: 100
- [1] Number of Digits to be Received: 3
- [1] Call Parameters: 10055
- [1] Voice Switching Features: NONE
- [1] Voice Compression Override Rate: NONE
- [1] Number of Leading Digits to be Stripped: 3
- [1] Pre- Post-Fix Digits: (blank)
- [1] Destination IP Address: (blank)

### **FRAD 2 - Roteador IP**

PVC Setup Table → associa uma conexão de LAN a subinterface lógica IP

[1] \*Source: lcon-1

[1] \*Destination: fri-3s1

LAN Connection → associa a conexão de LAN da PVC Setup Table a uma Interface de Roteamento IP

[1] \*Lan Forwarder Type: ROUT

[1] Lan Connection Type: PT\_TO\_PT

[1] \*Router Interface Number: 5

[1] Encapsulation Type: RFC1294

[1] Autocall Mnemonic: (blank)

[1] LCON Queue Limit: 16000

[1] Billing Records: OFF

[1] Traffic Priority: HIGH

IP Interface States → habilita a interface de roteamento associada a LAN connection

\*Interface #1 State: Enabled → interface de roteamento IP para a rede LAN

\*Interface #5 State : Enabled → interface de roteamento IP para a rede de WAN Frame Relay

\*Interface #6 State : Enabled

\*Interface #7 State : Unconfigured

IP Parameters → definição do endereço de *loopback* do roteador

\*Maximum Number of IP Interfaces: 36

Internal IP Address: 10.1.2.254

Internal Net Mask: 255.255.255.255

Access Control: Disabled

RIP Enable: Disabled

Originate Default Route: Disabled

Advertised Default Route Metric: 10

Default Gateway: 0.0.0.0

Default Gateway Metric: 10

Directed Broadcast: Disabled

All Subnet Broadcast: Disabled

\*IP Route Table Size: 768

\*IP Route Cache Size: 64  
\*Reassembly Buffer Size: 12000  
BOOTP Forwarding: Disabled  
BOOTP Max Allowed Metric: 4  
BOOTP Seconds Before Forward: 0  
IP Broadcast Forwarding Enable: Disabled  
UDP Broadcast Forwarding Enable: Disabled

Interfaces → criação das interfaces de roteamento IP

[1] Interface Number: → interface de LAN  
[1] IP Address : 10.1.2.254 → endereço IP da rede local do FRAD 2  
[1] IP Address Mask: 255.255.255.0 → rede local classe C (254 endereços válidos para *hosts*)  
[1] Accept RIP: DISABLED  
[1] RIP metric: 1  
[1] Send RIP Version: VER1  
[1] On Demand RIP: Disabled  
[1] Periodic Broadcast Interval: 30  
[1] Route Invalid Time: 180  
[1] Route Flush Time: 300  
[1] Learn Network Routes: Disabled  
[1] Learn Subnet Routes: Disabled  
[1] Override Default Route: Disabled  
[1] Override Static Routes: Disabled  
[1] Advertise Default Route: Disabled  
[1] Advertise Network Routes: Disabled  
[1] Advertise Subnet Routes: Disabled  
[1] Advertise Static/Direct Routes: Disabled  
[1] IP RIP Split Horizon: With\_Poison\_Reverse  
[1] Broadcast Style: LOCAL  
[1] Broadcast Fill Pattern: 1  
[1] MTU Size: 1500

[2] Interface Number: 5 → interface de WAN Frame Relay

- [2] IP Address : 10.1.1.5 → endereço IP da interface de roteamento
- [2] IP Address Mask: 255.255.255.252 → rede de WAN com 2 endereços IP válidos (ponto a ponto)
- [2] Accept RIP: DISABLED
- [2] RIP metric: 1
- [2] Send RIP Version: VER1
- [2] On Demand RIP: Disabled
- [2] Periodic Broadcast Interval: 30
- [2] Route Invalid Time: 180
- [2] Route Flush Time: 300
- [2] Learn Network Routes: Disabled
- [2] Learn Subnet Routes: Disabled
- [2] Override Default Route: Disabled
- [2] Override Static Routes: Disabled
- [2] Advertise Default Route: Disabled
- [2] Advertise Network Routes: Disabled
- [2] Advertise Subnet Routes: Disabled
- [2] Advertise Static/Direct Routes: Disabled
- [2] IP RIP Split Horizon: With\_Poison\_Reverse
- [2] Broadcast Style: LOCAL
- [2] Broadcast Fill Pattern: 1
- [2] MTU Size: 1500

Static Routes → direciona os pacotes IP da rede local para interface de roteamento de WAN IP

- [1] IP Network/Subnet: 0.0.0.0
- [1] IP Address Mask: 0.0.0.0
- [1] Next Hop: 10.1.1.6
- [1] Metric: 1

### **FRAD 1 - Roteador IP**

PVC Setup Table → associa uma conexão de LAN a subinterface lógica IP

[1] \*Source: lcon-1

[1] \*Destination: fri-3s1

*LAN Connection* → associa a conexão de LAN da PVC Setup Table a uma Interface de Roteamento IP

[1] \*Lan Forwarder Type: ROUT

[1] Lan Connection Type: PT\_TO\_PT

[1] \*Router Interface Number: 5

[1] Encapsulation Type: RFC1294

[1] Autocall Mnemonic: (blank)

[1] LCON Queue Limit: 16000

[1] Billing Records: OFF

[1] Traffic Priority: HIGH

*IP Interface States* → habilita a interface de roteamento associada a *LAN connection*

\*Interface #1 State : Enabled → interface de roteamento IP para a rede LAN

\*Interface #5 State : Enabled → interface de roteamento IP para a rede de WAN Frame Relay

\*Interface #6 State : Enabled

\*Interface #7 State : Unconfigured

*IP Parameters* → definição do endereço de *loopback* do roteador

\*Maximum Number of IP Interfaces: 36

Internal IP Address: 10.1.3.254

Internal Net Mask: 255.255.255.255

Access Control: Disabled

RIP Enable: Disabled

Originate Default Route: Disabled

Advertised Default Route Metric: 10

Default Gateway: 0.0.0.0

Default Gateway Metric: 10

Directed Broadcast: Disabled  
All Subnet Broadcast: Disabled  
\*IP Route Table Size: 768  
\*IP Route Cache Size: 64  
\*Reassembly Buffer Size: 12000  
BOOTP Forwarding: Disabled  
BOOTP Max Allowed Metric: 4  
BOOTP Seconds Before Forward: 0  
IP Broadcast Forwarding Enable: Disabled  
UDP Broadcast Forwarding Enable: Disabled

IP Interfaces → criação das interfaces de roteamento IP

[1] Interface Number: 1 → interface de LAN  
[1] IP Address : 10.1.3.254 → endereço IP da rede local do FRAD 1  
[1] IP Address Mask: 255.255.255.0 → rede local classe C (254 endereços válidos para hosts)  
[1] Accept RIP: DISABLED  
[1] RIP metric: 1  
[1] Send RIP Version: VER1  
[1] On Demand RIP: Disabled  
[1] Periodic Broadcast Interval: 30  
[1] Route Invalid Time: 180  
[1] Route Flush Time: 300  
[1] Learn Network Routes: Disabled  
[1] Learn Subnet Routes: Disabled  
[1] Override Default Route: Disabled  
[1] Override Static Routes: Disabled  
[1] Advertise Default Route: Disabled  
[1] Advertise Network Routes: Disabled  
[1] Advertise Subnet Routes: Disabled  
[1] Advertise Static/Direct Routes: Disabled  
[1] IP RIP Split Horizon: With\_Poison\_Reverse  
[1] Broadcast Style: LOCAL

[1] Broadcast Fill Pattern: 1

[1] MTU Size: 1500

[2] Interface Number: 5 → interface de WAN Frame Relay

[2] IP Address : 10.1.1.6 → endereço IP da interface de roteamento

[2] IP Address Mask: 255.255.255.252 → rede de WAN com 2 endereços IP válidos (ponto a ponto)

[2] Accept RIP: DISABLED

[2] RIP metric: 1

[2] Send RIP Version: VER1

[2] On Demand RIP: Disabled

[2] Periodic Broadcast Interval: 30

[2] Route Invalid Time: 180

[2] Route Flush Time: 300

[2] Learn Network Routes: Disabled

[2] Learn Subnet Routes: Disabled

[2] Override Default Route: Disabled

[2] Override Static Routes: Disabled

[2] Advertise Default Route: Disabled

[2] Advertise Network Routes: Disabled

[2] Advertise Subnet Routes: Disabled

[2] Advertise Static/Direct Routes: Disabled

[2] IP RIP Split Horizon: With\_Poison\_Reverse

[2] Broadcast Style: LOCAL

[2] Broadcast Fill Pattern: 1

[2] MTU Size: 1500

IP Static Routes → direciona os pacotes IP da rede local para interface de roteamento de WAN IP

[1] IP Network/Subnet: 0.0.0.0

[1] IP Address Mask: 0.0.0.0

[1] Next Hop: 10.1.1.5

[1] Metric: 1

#### **FRAD 1 e 2 - Interface Ethernet - porta 5**

[5] \*Port Type: ETH

[5] \*Port MAC Address: 00-00-00-00-00-00

[5] Transmit Queue Limit: 50

[5] Carrier Sense Filter: 0

[5] Collision Detect Filter: 0

Observação: as tabelas ARP e RARP são geradas automaticamente pelo sistema.

#### **FRAD 1 e 2 - configuração do nó**

Node Name: P1-100 → o node name do FRAD 2 é P2-200

Node Address: 100 → endereço X.25 do nó para roteamento de voz. O endereço do FRAD 2 é 200

Node Number: 100 → o node number do FRAD2 é 200.

Maximum Routing Hops: 15

Maximum Routing Hops For Voice: 2

Hop Count Facility Code: 200

Control Port Subaddress: 98

Control Port Idle Disconnect Time (minutes): 10

Alarm Distribution: CTP

Alarm Printer Mnemonic: (blank)

Alarm Selection: HIGH+MED

Threshold Alarm Timer (minutes): 15

Broadcast Port Subaddress: 95

\*Number of Broadcast Nets: 0

\*Number of Broadcast Input Channels: 1

\*Billing Printer Mnemonic: (blank)

\*Billing Record Call Threshold: 10

Maximum Billing Records: 100

\*Billing Record Timer (minutes): 0

PVC Billing Record Timer (minutes): 0  
SVC Billing Record Timer (minutes): 0  
\*Maximum Simultaneous Calls: 100  
Port Utilization Threshold (%): 75  
Buffer Utilization Threshold (%): 75  
CPU Utilization Threshold (%): 75  
Port Error Threshold: 10  
PAD Bulletin Message: projeto experimental  
PAD Banner Message: ^M^J (node %N) port %P(%C)^M^J  
DCP Facility: 201  
\*Codex Proprietary Protocol ID: 192  
\*LAN Connection Subaddress: 94  
Contact: Walkan  
Domain Name: Equant Brasil  
Node Location: Blumenau/SC - Brasil  
\*Traffic Priority: MED  
\*Traffic Priority Step: 8  
\*Shared, Runtime, Dynamic Heap Size: 200000  
\*Max Frame Size: 1620  
\*Min DBUFFER Pool Size: 5000  
Codex Facility: 202  
\*Route Selection Table Size: 16  
\*Mnemonic Table Size: 16  
\*PVC Setup Table Size: 16  
\*Inbound Call Translation Table Size: 64  
\*Number of Network Services Channels: 256  
Node switched services security password: (blank)  
\*Maximum calling Identifier table size: 255  
\*Quantity of DSP Devices: 32  
\*Quantity of SES Devices: 16  
Primary NUIIC Data Network Address: (blank)  
Secondary NUIIC Data Network Address: (blank)  
Billing Printer2 Mnemonic: (blank)  
E.164 format identifier: 09

DORM Subaddress: 91  
 Other DORM Address: (blank)  
 \*Number of X32 Ports: 50  
 \*Ring Frequency: 25Hz  
 \*Voice Switching Table Size: 16  
 \*Max Switch Service Entries: 200  
 \*Outbound Call Translation Table Size: 64  
 GSC Call Rate(Number of Calls per Sec.): 0  
 Expanded Node Name: (blank)

**FRAD 1 e 2 - Software Key Table** → chaves de software para habilitar os codecs G.723.1 e G.729.A

[5] Key value: VJMK2ZA39RSJ8SUGTB7P

[6] Key value: Q6CGC7ND7MDFWG4DF494

## B2 - Parametrização do roteador emulando Switch Frame Relay

### Interfaces Frame Relay DCE - portas 1 e 2

[1] \*Port Type: FRI

[1] Connection Type: SIMP

[1] Clock Source: INT

[1] Clock Speed: 64000

[1] Frame Sequence Counting: NORM

[1] Packet Sequence Counting: NORM

[1] Control Protocol Support: ANNEX\_D

[1] Control Protocol Options: NONE

[1] Discard Control Options: NONE

[1] High Priority Station: 0

[1] Maximum Voice Bandwidth bits per sec: 10800 → CIR de voz fixado para G.729

[1] Segment Size When Voice Is Present: 64 → fator comprimento do fragmento da PDU para IP

[1] Segment Size When Voice Is Not Present: Disable

[1] T391/nT1 Poll Timer: 10

- [1] T392/nT2 Verification Timer: 15
- [1] N391/nN1 Full Status Polling Cycle: 6
- [1] N392/nN2 Errors During Monitored Events: 3
- [1] N393/nN3 Monitored Events: 4
- [1] Starting SVC DLCI Number: 0

- [2] \*Port Type: FRI
- [2] Connection Type: SIMP
- [2] Clock Source: INT
- [2] Clock Speed: 64000
- [2] Frame Sequence Counting: NORM
- [2] Packet Sequence Counting: NORM
- [2] Control Protocol Support: ANNEX\_D
- [2] Control Protocol Options: NONE
- [2] Discard Control Options: NONE
- [2] High Priority Station: 0

[1] Maximum Voice Bandwidth bits per sec: 10800 → CIR de voz fixado para G.729

[1] Segment Size When Voice Is Present: 64 → fator comprimento do fragmento da PDU encapsulando IP

- [2] Segment Size When Voice Is Not Present: Disable
- [2] T391/nT1 Poll Timer: 10
- [2] T392/nT2 Verification Timer: 15
- [2] N391/nN1 Full Status Polling Cycle: 6
- [2] N392/nN2 Errors During Monitored Events: 3
- [2] N393/nN3 Monitored Events: 4
- [2] Starting SVC DLCI Number: 0

Observação: para configurar as portas para DCE é necessário realizar configuração de hardware, instalando a placa DIMM V.35 na posição DCE do respectivo soquete na *motherboard*

### **Interfaces lógicas de voz do switch para portas 1 e 2 - station 2**

- [2] Station Type: ANNEX\_G

- [2] \*Station Circuit Type: PVC
- [2] DLCI: 70 → associação da subinterface lógica com o DLCI da CVP de voz
- [2] Committed Information Rate (CIR): 10800 → CIR para a CVP de voz (fixado para 6.729)
- [2] Committed Burst Size (BC): 10800 → Bc = CIR
- [2] End-to-End Transit Delay: 50
- [2] Congestion Control Mode: NORMAL
- [2] Voice Congestion Control Mode: Disabled
- [2] Link Address: DCE
- [2] Number of PVC Channels: 0
- [2] Starting PVC Channel Number: 1
- [2] Number of SVC Channels: 16
- [2] Starting SVC Channel Number: 1
- [2] Number of Voice SVC Channels: 1
- [2] Initial Frame: SABM
- [2] T1 Transmission Retry Timer (1/10 sec): 80
- [2] T4 Poll Timer: 90
- [2] N2 Transmission Tries: 10
- [2] K Frame Window: 7
- [2] W Packet Window: 2
- [2] P Packet Size: 128
- [2] Data Queue Upper Threshold: 5
- [2] Data Queue Lower Threshold: 0
- [2] Restart Timer: 180
- [2] Reset Timer: 180
- [2] Call Timer: 200
- [2] Clear Timer: 180
- [2] Peak Utilization Monitoring Interval: 0
- [2] X.25 Options: NONE
- [2] Restricted Connection Destination: (blank)
- [2] CUG Membership: ---,---,---,---,---
- [2] Billing Records: OFF
- [2] Frame Segmenter: Disabled
- [2] Annex G Rate Reduction on Link Error: Enabled

### Interfaces lógicas IP do switch para portas 1 e 2 - station 1

[1] Station Type: BYPASS

[1] \*Station Circuit Type: PVC

[1] DLCI: 50 → associação da subinterface lógica com a CVP para tráfego IP

[1] Committed Information Rate (CIR): 32000 → CIR da CVP IP (50% da velocidade do acesso)

[1] Committed Burst Size (BC): 32000 → Bc = CIR

[1] End-to-End Transit Delay: 50

[1] Congestion Control Mode: NORMAL

[1] Peak Utilization Monitoring Interval: 0

[1] Frame Segmenter: Enabled → protocolo de fragmentação habilitado para as PDUs encapsulando IP

[1] Max Inbound Queue: 2500

Computador

Route Selection Table → associa a interface lógica IP da porta 1 com a interface lógica IP da porta 2.

Realiza a mesma associação para as interfaces lógicas de voz

[3] \*Source: fri-1s1

[3] \*Destination: fri-2s1

[4] \*Source: fri-1s2

[4] \*Destination: fri-2s2

### Roteador emulando switch - configuração do nó

Node Name: Switch

Node Address: 300

Node Number: 300

Chassis Type: 6520

Maximum Routing Hops: 15

Maximum Routing Hops For Voice: 4

Hop Count Facility Code: 200

Control Port Subaddress: 98

Control Port Idle Disconnect Time (minutes): 10

Alarm Distribution: CTP  
Alarm Printer Mnemonic: (blank)  
Alarm Selection: HIGH+MED  
Threshold Alarm Timer (minutes): 15  
Broadcast Port Subaddress: 95  
\*Number of Broadcast Nets: 0  
\*Number of Broadcast Input Channels: 1  
\*Billing Printer Mnemonic: (blank)  
\*Billing Record Call Threshold: 10  
Maximum Billing Records: 100  
\*Billing Record Timer (minutes): 0  
PVC Billing Record Timer (minutes): 0  
SVC Billing Record Timer (minutes): 0  
\*Maximum Simultaneous Calls: 100  
Port Utilization Threshold (%): 75  
Buffer Utilization Threshold (%): 75  
CPU Utilization Threshold (%): 75  
Port Error Threshold: 10  
PAD Bulletin Message: (blank)  
PAD Banner Message: ^M^J Motorola 6520 (node %N) port %P(%C)^M^J  
DCP Facility: 201  
\*Codex Proprietary Protocol ID: 192  
\*LAN Connection Subaddress: 94  
Contact: Walkan  
Domain Name: Equant Brasil Ltda  
Node Location: Blumenau/SC - Brasil  
\*Traffic Priority Step: 8  
\*Max Frame Size: 2200  
Motorola Facility: 202  
\*Route Selection Table Size: 16  
\*Mnemonic Table Size: 16  
\*PVC Setup Table Size: 16  
\*Inbound Call Translation Table Size: 64  
\*Number of Network Services Channels: 1024

Node switched services security password: (blank)

Maximum calling Identifier table size: 255

\*Quantity of DSP Devices: 256

\*Quantity of SES Devices: 256

Primary NUIC Data Network Address: (blank)

Secondary NUIC Data Network Address: (blank)

Billing Printer2 Mnemonic: (blank)

E.164 format identifier: 09

DORM Subaddress: 91

Other DORM Address: (blank)

\*Number of X32 Ports: 50

\*Ring Frequency: 25Hz

\*Voice Switching Table Size: 16

\*Max Switch Service Entries: 200

\*LOCAL Dynamic Port Creation Heap Size : 0

\*SHARED Dynamic Port Creation Heap Size : 0

Number of Digits to be Omitted from CAEF: 0

Digits to prefix in CAEF: (blank)

\*Outbound Call Translation Table Size: 64

GSC Call Rate(Number of Calls per Sec.): 0

Expanded Node Name: (blank)

## Referências bibliográficas

- [1] MAXENCHUK, N. F., AND LO, S. *Measurement and interpretation of voice traffic on the Internet*. Conference Record of the International Conference on Communications (ICC). Montreal, Canadá, 1997
- [2] FRAME RELAY FORUM TECHNICAL COMMITTEE. *Service Level Definitions Implementation Agreement FRF.13\_* Versão 1.0. FRF Forum, 1998
- [3] HÉBUTERNE, Gérard. *Quality of Service and Related Issues in Broadband Networks*. Institut National des Télécommunications Département “Réseaux et Services des Télécommunications”. França, 1998
- [4] KOSTAS, Thomas J., BORELLA, Michael S., SIDHU, Ikhlaz et al. *Real-Time Voice Over Packet-Switched Networks*. IEEE Network, 1998
- [5] VERMA, Dinesh C., FERRARI, Domenico. *Real-Time Communication In A Packet-Switching Network*. Califórnia University and International Computer Science Institute, Berkeley, Califórnia, USA, 1990
- [7] GENTILE, Kevin, DANIEL, Wayne, WORTHINGTON, Laura et al. *Audio Conferencing Quality of Service Issues within the Transition from Circuit-Switched to Packet-Switched*. [www.citeseer.nj.nec.com/402452.html](http://www.citeseer.nj.nec.com/402452.html), 2000
- [8] CISCO SYSTEMS, *Deploying Voice over ATM or FR Networks*. [http://www.cisco.com/networkers/nw99\\_pres/403.pdf](http://www.cisco.com/networkers/nw99_pres/403.pdf). USA 1998
- [9] OPPENHEIMER, PRISCILLA. *Projeto de redes Top Top-Down*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1999, tradução de Vanderberg Dantas de Souza de *Top-Down Network Design*.

- [10] ENNE, Antônio José Figueiredo. *Frame Relay - Redes Protocolos e Serviços*. Editora Axcel Book do Brasil, 1998.
- [11] JAIN, Raj. *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. Digital Equipment Corporation, 1991.
- [12] HWANG, Junseok, WEISS, Martin B. H. *Cost / Benefit Tradeoff of quality of Service Mechanisms in Integrated Services Networks*. University of Pittsburgh, 1999.
- [13] HASSAN Mahbub, NAYANDORO Alfandika, ATIQUZZAMAN Mohamed. *Internet Telephony: Services, Technical Challenges, and Products*. IEEE Communications Magazine, 2000.
- [14] ALTMAN Eitan, BARAKAT Chadi, RAMOS Victor M., *On the utility of FEC mechanisms for audio applications*, INRIA Sophia Antipolis e Institute Eurécom, França, 2001.
- [15] BAUGÉ T., EGAN R., FLEGKAS P. et al, *QoS Provisioning in an IP-based Studio Production Network*, Racal Research and University of Surrey, UK, 2001.
- [16] CISCO SYSTEMS, *Cisco Voice Over Frame Relay, ATM and IP Revision 1.0, Volumes 1 e 2: Student Guide*, Cisco Systems, U.S.A., 2000
- [17] MENASCÉ, DANIEL A.; ALMEIDA, VIRGÍLIO A. F., *Capacity Planning for Web Performance: Metrics, Models & Methods*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998.
- [18] CISCO SYSTEMS, *Voice Quality – Understanding Delay in Packet voice networks*, [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies\\_white\\_paper09186a00800a8993.shtml#codeprocessdelay](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_white_paper09186a00800a8993.shtml#codeprocessdelay)
- [19] CISCO SYSTEMS, *Voice Over IP – Per call bandwidth consumption*, [http://www.cisco.com/warp/public/788/pkt-voice-general/bwidth\\_consume.html#topic1](http://www.cisco.com/warp/public/788/pkt-voice-general/bwidth_consume.html#topic1)

[20] ITU-T, *G.114 – One-Way transmission time*, maio 2000

[21] ITU-T, *G.723.1 – Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3 Kbps*, Geneva, 1996.

[22] ALVES, LUIZ, *Comunicação de Dados*, Makron Books, São Paulo – SP, 1994

[23] [www.protocols.com](http://www.protocols.com)

[24] FRAME RELAY FORUM, *Basic Guide for Frame Relay*, [www.frforum.com](http://www.frforum.com)